

VŠB- Technická univerzita Ostrava  
Fakulta stavební  
Katedra stavebních hmot a hornického stavitelství

## **Průzkum, diagnostika a sanace historických konstrukcí**

### **Examination, diagnostic and rehabilitation of historic structures**

Student:

Šárka Krejčí

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jana Daňková

Ostrava 2012

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta stavební  
Katedra stavebních hmot a hornického stavitelství

## Zadání bakalářské práce

Student:

**Šárka Krejčí**

Studijní program:

B3607 Stavební inženýrství

Studijní obor:

3647R019 Stavební hmoty a diagnostika staveb

Téma:

**Průzkum, diagnostika a sanace historických konstrukcí**  
Examination, diagnostic and rehabilitation of historic structures

Zásady pro vypracování:

1. Kompilativní část - metodika průzkumů staveb. Stavební památky a jejich specifika z hlediska průzkumů, diagnostiky a sanace.
2. Výskyt vlhkosti v památkových objektech. Charakteristika, typické projevy, vady a poruchy, specifika průzkumů, diagnostické metody, sanační metody.
3. Experimentální část - IN SITU průzkum historického (památkového) stavebního objektu, diagnostika vad a poruch.
4. Hodnocení konstrukce. Návrh sanačních opatření.
5. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

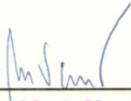
Škabradla J.: Konstrukce historických staveb. Argo Praha 2003, 2007.  
Kolektiv: Péče o architektonické dědictví - sborník prací III.díl. IDEA SERVIS Praha 2009.  
Witzany J., Čejka T., Wasserbauer R., Zigler R.: PRD - Poruchy, degradace a rekonstrukce. ČVUT Praha 2010.  
ČS EN 1990  
metodické příručky NPÚ ČR  
Klečka T. a kol.: Metody průzkumu vlhkých staveb. WTA Praha 2007.  
Balík M.: Vysušování zdiva v příkladech. Grada Praha 2010.  
a další normy, odborný tisk dle pokynů vedoucího práce

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jana Daňková**

Datum zadání: 31.10.2011

Datum odevzdání: 30.04.2012

  
Ing. Martin Vavro, Ph.D.  
vedoucí katedry



  
prof. Ing. Darja Kubečková Skulinová, Ph.D.  
děkanka fakulty

### **Místopřísežné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že

- byla jsem seznámena s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, же Высoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB- TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB- TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB- TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, же оdevздáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě .....

## **Poděkování:**

Ráda bych poděkovala Ing. Janě Daňkové za odborné vedení a cenné rady, které mi pomohly při psaní této práce.

Mé poděkování dále patří Klášteru premonstrátů v Želivě, který se stal objektem pro provedení předběžného stavebně technického průzkumu.

## **Anotace**

Koncentrace památkově chráněných objektů na území České republiky je velmi vysoká, proto neustále stoupá zájem o zachování těchto historicky cenných staveb, které se často nachází v nevyhovujícím stavu. Za účelem obnovy památky se provádí stavební, historické a architektonické průzkumy, jejichž cílem je šetrný návrh sanačních opatření, s důrazem na použití nedestruktivních sanačních metod.

Jednou z nejčastějších poruch historických staveb jsou vlhkostní problémy způsobené často dožitým či chybějícím hydroizolačním opatřením. Z tohoto důvodu jsem práci směřovala na diagnostiku a následnou sanaci objektů trpících zvýšenými hodnotami vlhkosti. V první části jsem se zaměřila na historické metody hydroizolací, příčiny vzniku vlhkosti, diagnostické metody určení hodnot vlhkosti a možná sanační opatření. Druhá část byla věnována předběžnému stavebně technickému průzkumu Kláštera premonstrátů v Želivě.

## **Annotation**

The numbers of historical buildings in the Czech Republic listed as protected is high and therefore there is increasing interest in the preservation of these historically valuable buildings, which are often found in unsatisfactory conditions. In order to restore these sights, historical and architectural surveys are performed. The goal of these surveys is to aim towards developing economical design of remedy steps, which would focus on use of non-destructive methods of preservation.

One of the most common problem of historic buildings is humidity, which is often caused by outdated or by completely missing waterproofing precautions. For this reason, I directed my work towards the diagnosis and consequent rehabilitation of buildings suffering from elevated humidity. In the first part of my work I focused on the historical methods of waterproofing techniques, moisture origin and diagnosing methods for determining the value of moisture and proper intervention. The second part of my work was devoted to technical explorative examination of the premonstratensian monastery in Želiv.

## Obsah:

Seznam zkratk	1
<b>1. Úvod</b>	<b>2</b>
<b>2. Historické metody ochrany staveb proti vlhkosti</b>	<b>3</b>
2.1. Typy historických řešení hydroizolací	3
<b>3. Příčiny zvýšené vlhkosti</b>	<b>9</b>
3.1. Zdroje vlhnutí zdiva	9
<b>4. Stavebně technický průzkum historických staveb</b>	<b>12</b>
<b>5. Sanace vlhkého zdiva</b>	<b>14</b>
5.1. Přímé hydroizolační metody	15
5.1.1. Vkládání hydroizolace do probouraných otvorů v konstrukci	15
5.1.2. Vkládání hydroizolace do ručně nebo strojně proříznuté ložné spáry	16
5.1.3. Zatlučování nerezových profilovaných plechů	17
5.1.4. Hydroizolace chemickými injektážními metodami	18
5.1.5. Izolace metodou aktivní elektroosmózy	19
5.1.6. Vzduchoizolační metody	19
<b>6. Experimentální část - Předběžný stavebně technický průzkum některých objektů Klášteřa premonstrátů v Želivě</b>	<b>23</b>
6.1. Analýza historických podkladů	25
6.2. Průzkum vlhkosti zdiva	26
6.3. Průzkum klášteřa premonstrátů v Želivě, diagnostika vad a poruch	30
6.3.1. Objekty opatství	32
6.3.2. Sklepní prostory úřednického domu	35
6.3.3. Konvent - obvodové zdivo v rajském dvoře	38
6.3.4. Trčkův hrad	40
6.3.5. Vlivy působící na přesnost měření	41
6.4. Návrh sanačních opatření	43

<b>7. Závěr a doporučení pro další výzkum .....</b>	<b>45</b>
 Seznam obrázků .....	46
Seznam fotografií .....	47
Seznam tabulek .....	48
Seznam použitých vzorců .....	48
Seznam literatury .....	49



## Seznam zkratk

ČSN	Česká státní norma	
$m_k$	Hmotnost kapaliny	[kg]
$m_s$	Hmotnost suchého vzorku	[kg]
$m_w$	Hmotnost vlhkého vzorku	[kg]
S1- S10	Označení provedených sond	
$v$	Objem celé látky	[m <sup>3</sup> ]
V1	Označení odebraného vzorku	
$v_k$	Objem kapaliny	[m <sup>3</sup> ]
$w_h$	Hmotnostní vlhkost	[%]
$w_O$	Objemová vlhkost	[%]
$\rho_k$	Hustota kapaliny	[kg/m <sup>3</sup> ]

# 1. Úvod

Stavební památky znázorňují informace o realitě života, záměrech a ideích jednotlivých generací obyvatel. Tyto obsáhlé odkazy jsou však neustále ohrožovány nepřiměřenými stavebními zásahy, způsobenými nepochopením hodnoty památky, ale také přirozenými procesy degradace materiálů a v neposlední řadě požadavky hygienickými či technickými.

Poruchy památkových objektů jsou zpravidla způsobeny spolupůsobením více faktorů. Pro odstranění poruchy konstrukce je nutné především odstranění příčiny této poruchy. K určení příčiny slouží stavebně technické průzkumy.

Památkově chráněné objekty zahrnují natolik obsáhlé struktury, že pro následnou obnovu nelze určit univerzální postup. K obnově památky je nutno přistupovat jako k svébytné interpretaci obnovovaného historického díla. Její specifikace je dána řadou kritérií v realizaci průzkumných, návrhových i sanačních prací a spojením odborných, architektonických a výtvarných dovedností.

Pro shrnutí smyslu obnovy památkově chráněných objektů ve formě základních požadavků na obnovu a ochranu památek, by se dalo hovořit o obecných zásadách obnovy.

## Mezi zásady obnovy památkových objektů řadíme:

- Zásada citlivého přístupu k památkově chráněnému objektu
- Zásada respektování vývojových fází díla
- Zásada důkladného porozumění stavebnímu uspořádání
- Zásada celistvého ztvárnění památkového objektu
- Zásada věrohodnosti historického obrazu
- Zásada harmonie s okolní zástavbou

Tématem této bakalářské práce je identifikace vlhkosti ve zdivu, metodika průzkumů a přehled užívaných sanačních metod vzhledem ke zvláštním aspektům ochrany památkových staveb. Praktická část této práce je zaměřena na předběžný stavebně technický průzkum stavu vlhkosti zdiva v některých objektech Kláštera premonstrátů v Želivě.

## 2. Historické metody ochrany staveb proti vlhkosti

Mezi příčiny zvýšené vlhkosti objektu řadíme vady způsobené volbou nesprávného materiálu, vady vzniklé působením času, vady vzniklé při přípravě a realizaci objektu a také nevhodné umístění stavby. Důsledkem některých z příčin je nefunkční hydroizolační opatření. U historických objektů se setkáváme i s chybějícími opatřeními proti vodě.

Pokud při provádění průzkumu objektu dojde ke zjištění dřívějšího řešení hydroizolace, postupuje následná sanace buď obnovou historického řešení hydroizolace, doplněním dřívějšího opatření potřebnými úpravami, popřípadě zrušením či ponecháním původního návrhu izolace, avšak nezahrnutí do sanačního opatření [1].

### 2.1. Typy historických řešení hydroizolací

K ochraně objektu proti vodě docházelo již v obdobích gotiky, kde byly vkládány do spodní části stavby ostře pálené cihly či břidlicové desky nebo v mnoha případech byla stavba izolována pomocí vrstvy jílu, postupem času došlo k vzniku dalších těsnících vrstev a povlaků. V dnešní době jsou nejvyužívanější asfaltové pásy. U starších objektů se také setkáváme s ochranou stavby proti vodě za pomoci systému proudícího vzduchu a často se vyskytujícími úpravami okolí stavby mezi které řadíme například drenážní systémy.

#### Řešení hydroizolace pomocí systému proudícího vzduchu

Metoda proudícího vzduchu patří mezi nejčastější způsoby řešení hydroizolace. Je založen na proudění vzduchu v dutinách, kdy dochází k zvýšení difúze a odvedení vlhkého vzduchu do atmosféry [1].

#### Systém dutinových podlah

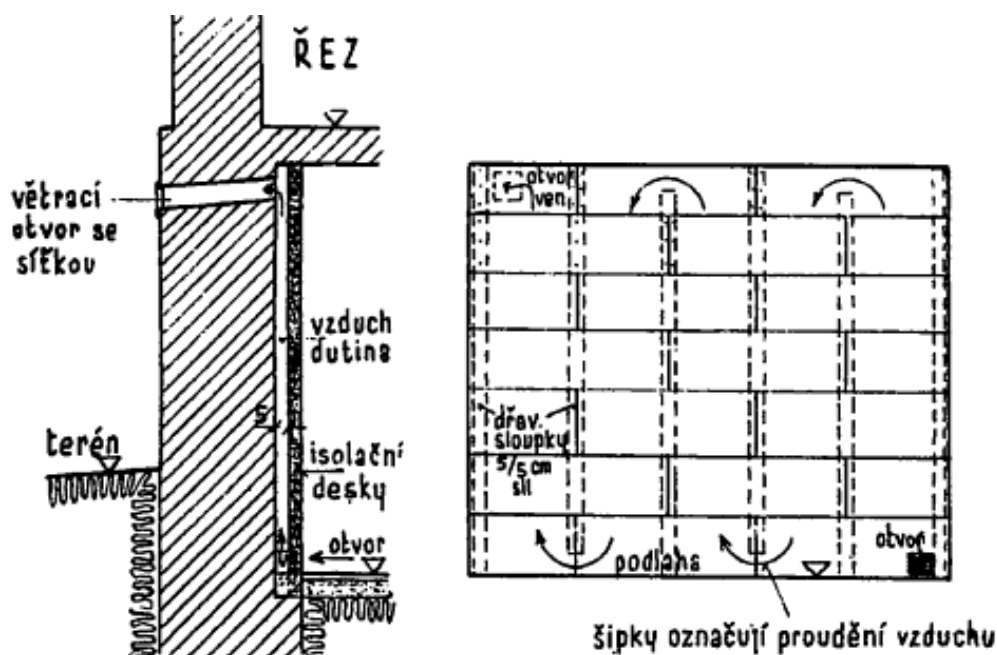
Mezi historická řešení hydroizolace pomocí proudícího vzduchu patří systém dutinových podlah. Problémem tohoto způsobu hydroizolace je, že z různých příčin nedochází k dostatečnému proudění vzduchu a systém se stává zdrojem vlhkostních problémů. Následně dochází k napadení nášlapných vrstev, často tvořených dřevěnými prvky, dřevokazným hmyzem a dřevokaznými houbami. Při sanaci objektu, kde hydroizolace je řešena systémem dutinových podlah, je nutné tento systém respektovat a za pomoci vhodných materiálů podpořit funkci proudění vzduchu.

### Izolace zdiva pomocí stěnové vzduchové dutiny

Stěnové vzduchové dutiny patří mezi často používané řešení ochrany objektu proti vodě, které je využíváno dodnes. Je však nutné zajistit potřebný tlak ve vzduchové dutině, aby systém plnil svoji funkci.

Nevýhodou řešení hydroizolace znázorněné na obr. č. 1 je malá šířka vzduchové dutiny a s tím související nízký tlakový spád, což zapříčiňuje nedostatečné proudění vzduchu zvláště pak v obdobích, kdy teplota vzduchu vnitřní a vnější části objektu dosahuje podobných hodnot.

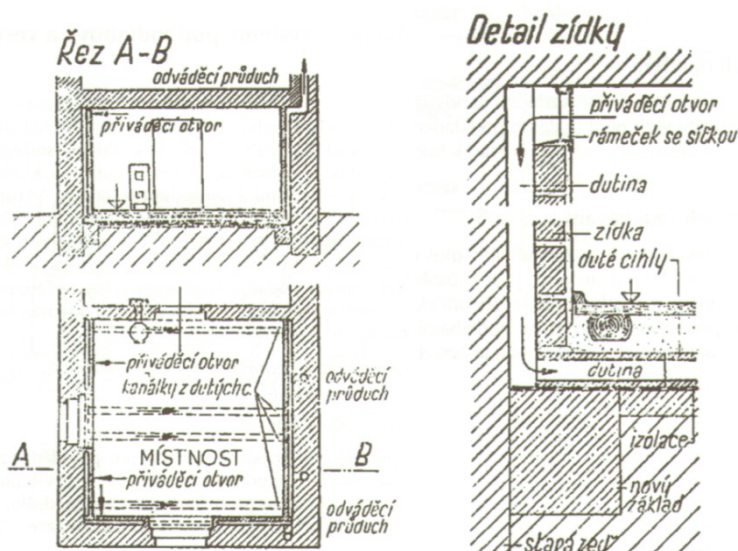
U tohoto provedení je nutno zajistit proudění vzduchu v dutině, například zvětšením počtu otvorů nad podlahovou konstrukcí, což by způsobovalo v chladnějším období větší tepelné ztráty. Další možností dosažení potřebného tlakového spádu je zněna šířky vzduchové dutiny, vybouráním přičky a následným vyzdění nové, s ponecháním potřebné vzduchové mezery. Tento postup lze u památkových objektů aplikovat pouze při důkladném prozkoumání hodnoty konstrukce.



Obr. č. 1: Izolace zdiva pomocí stěnové vzduchové dutiny v kombinaci s dutinou v podlaze [1]

U izolace zdiva pomocí propojené stěnové a podlahové vzduchové dutiny (viz obr. č. 2) je častou závadou, že nedochází k proudění vzduchu v podlahové dutinové konstrukci, z důvodu toho, že teplý vzduch by měl proudit z místnosti směrem dolů pod podlahu a pak následně nahoru do ovzduší.

V případě realizace opatření je nutné nejprve odstranění vlhkosti zdiva a následné zajištění proudění vzduchu v odvětrávacím systému.



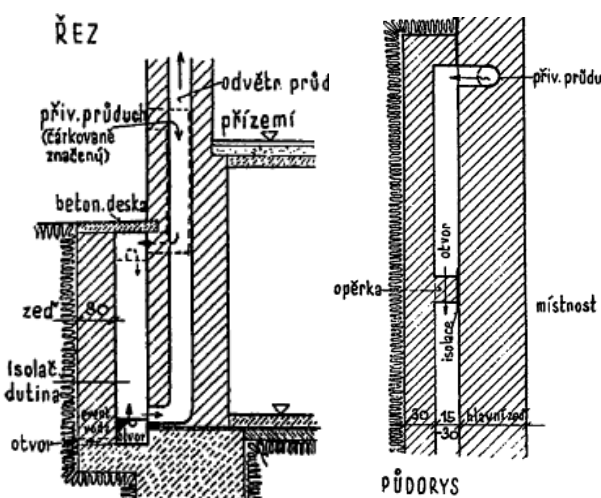
Obr. č. 2: Izolace řešená stěnovými a podlahovými dutinami [1]

### Izolace zdiva pomocí vzduchové mezery v exteriéru

Další možností historického řešení hydroizolací pomocí proudícího vzduchu jsou vnější vzduchové dutiny. U tohoto řešení ochrany konstrukce proti vodě a vlhkosti, může dojít k nesprávnému provedení anebo dodatečné úpravě vzduchové dutiny, následnému ucpání vzduchových kanálků, což vede k situaci, kdy se vzduchové dutiny stávají zdrojem vlhkosti.

U systému na obr. č. 3 pravděpodobně nedochází k proudění vzduchu v konstrukci a to z důvodu složitosti trasy přiváděného vzduchu. V zimním období může nastat potřebný tlakový spád, díky ohřátí vzduchu v dutině teplem vzniklým v interiéru budovy.

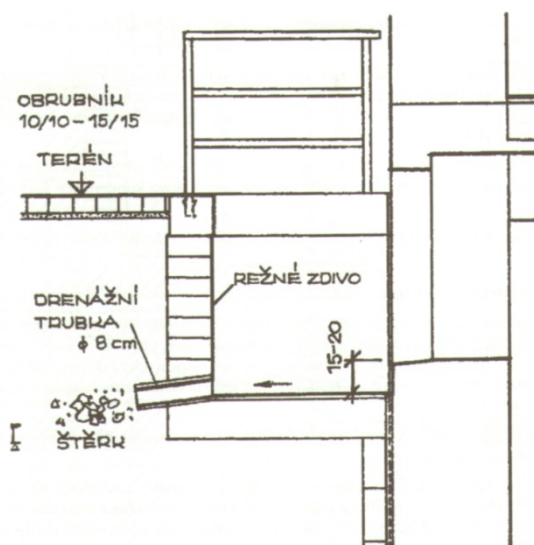
Při provádění následné sanace je nutno ověřit zda je zdivo napadeno vztlínající vlhkostí, či zda se v objektu vyskytují problémy kondenzace vlhkosti na povrchu zdiva. Pokud se tyto problémy u zdiva nevyskytují, tak je možno vzduchovou mezeru ponechat. Zda se vlhkostní problémy prokáží je nutné vzduchovou dutinu odstranit a provést potřebná sanační opatření.



Obr. č. 3: Izolace pomocí anglického dvorku [1]

Dalším opatřením ochrany stavby proti vodě je realizace anglického dvorku (viz obr. č. 4) tvořeného opěrnou zdí a patřičně odvodněným dnem vyspádaným od budovy. Jedná se o účinnou metodu, která však není vhodná u objektů v uliční zástavbě a u mělkého podloží základové spáry. Dále je důležité brát ohled na spád terénu, aby nedocházelo k odtoku srážkové vody do anglického dvorku.

Při sanaci opatření tohoto typu je nutné ověřit jeho funkčnost. V nedostatečném odvádění vody ze dna je zapotřebí navrhnout nové odvodnění. Dále je důležité utěsnění spáry mezi objektem a dnem anglického dvorku.



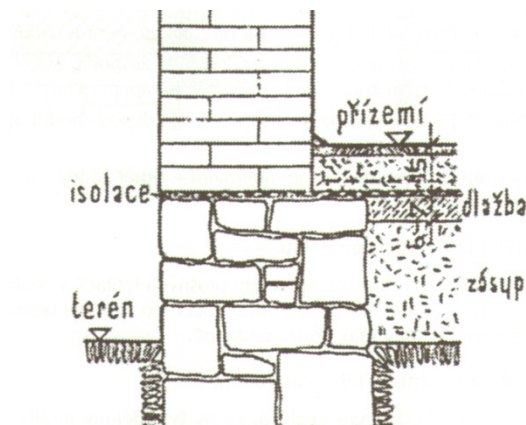
Obr. č. 4: Izolace pomocí anglického dvorku odváděného drenážní trubkou [1]

### **Řešení hydroizolace pomocí těsnících vrstev a povlaků**

Velmi oblíbeným způsobem hydroizolace zdiva je vytvoření nepropustné vrstvy. U památkových objektů se setkáváme s hydroizolačními opatřeními pomocí břidlicových desek, ostře pálených cihel atd. S příchodem asfaltových pásů a povlaků, docházelo především k izolaci objektů pomocí těchto materiálů.

### **Horizontální izolace konstrukce**

Zdivo na obr. č. 5 je izolováno utěšňující vrstvou tvořenou asfaltovými pásy a kamenivem, kde kamenivo plní funkci drenáže a zabraňuje vztlínání vody do horní části konstrukce, díky dostatečné velikosti mezer. Skladba je doplněna izolací z asfaltových pásů, pro větší účinnost ochrany proti vodě. Jedná se o velmi účinnou ochranu objektu proti vlhkosti. Hlavním problémem těchto asfaltových izolací je však jejich omezená životnost. Lze tedy u starších objektů předpokládat omezenou účinnost izolace. Možným opatřením je nahrazení nefunkční hydroizolace vhodnými materiály.

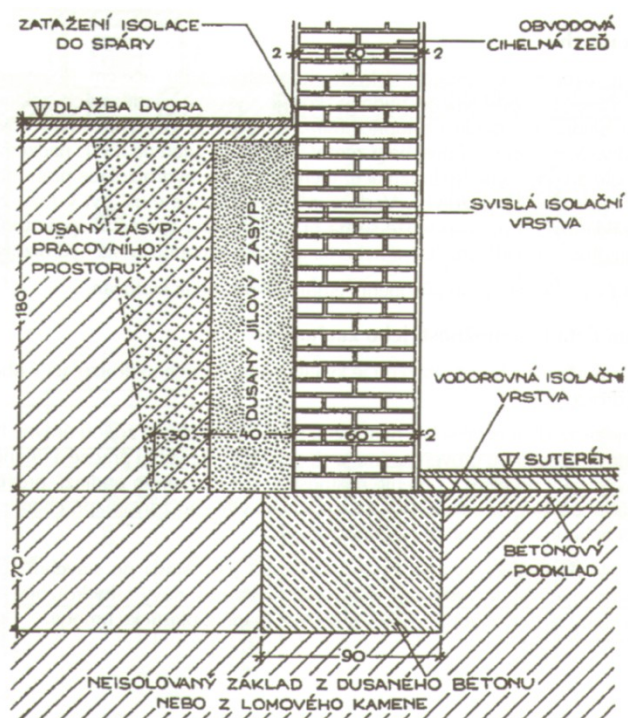


Obr. č. 5: Izolace pomocí asfaltových pásů a kameniva [1]

### Izolace pomocí jílové vrstvy

Dalším historickým způsobem, který je dodnes používám pro izolace proti vlhkosti jsou jílové vrstvy. Tento způsob ochrany objektu proti vodě je vhodný v místech s trvalou zvýšenou vlhkostí, kde nedochází k vysychání jílové vrstvy. Jedná se o vysoce účinné, jednoduché a levné řešení hydroizolace.

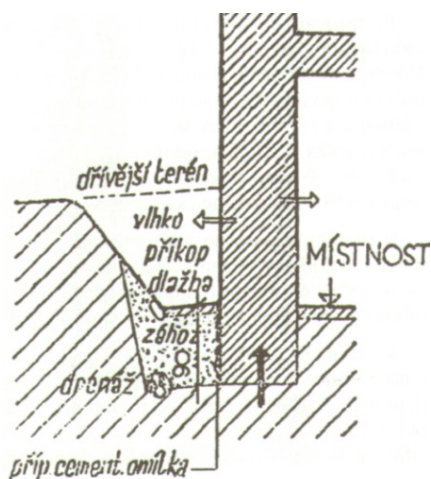
Na obr. č. 6 je zdivo je chráněno před vlhkostí rubovou izolací tvořenou vrstvou jílu, doplněnou o svislou izolační vrstvu, tato vrstva je však „zbytečná“. Hlavním problémem tohoto systému je nedorěšení odvodu vody shromažďované za jílovou vrstvou, dále také uložení jílové vrstvy na část základu, kdy pravděpodobně dochází k zatékání nad horizontální izolační vrstvu.



Obr. č. 6: Rubová izolace vrstvou jílu [1]

### Úprava okolí stavby

Mezi historické úpravy okolí stavby řadíme systémy drenážní, odvětrávané příkopy a kanálky a úpravy terénu. Úkolem těchto metod je snížení hladiny podzemní vody. U těchto systémů je nutné zajištění jejich funkce, kterou je odvod vody. Při provádění odvodňovacího systému je kladen důraz na správnou hloubku a spád výkopu. Rozeznáváme systémy otevřené (viz obr. č. 7) nebo uzavřené pod vrstvou terénu. Řešení znázorněné na obr. č. 7 plní dostatečnou funkci ochrany proti vodě, je však nutné doplnění horizontální izolace objektu a svislé izolace u kontaktu stěny s terénem.



Obr. č. 7: Izolace zdiva pomocí otevřeného výkopu a drenážní rýhy [1]



### 3. Příčiny zvýšené vlhkosti

V průběhu své životnosti je objekt vystaven působením řady vnitřních i vnějších činitelů. Následkem těchto vlivů dochází k výskytu vody a vodní páry v konstrukci. Objekt je tedy nutno chránit potřebnými opatřeními zabráňujícími pronikání vlhkosti do konstrukcí.

Příčinou pronikání vlhkosti (vody) do zdiva může být, např.:

- Nefunkční či chybějící hydroizolační vrstva mezi nadzemní a podzemní částí konstrukce
- Špatně navržené dodatečné opatření
- Nekvalitní provedení hydroizolačních opatření
- Nevhodně zvolený materiál
- Změny podmínek užívání nebo vnější vlivy
- Složité nebo podceněné hydrogeologické podmínky

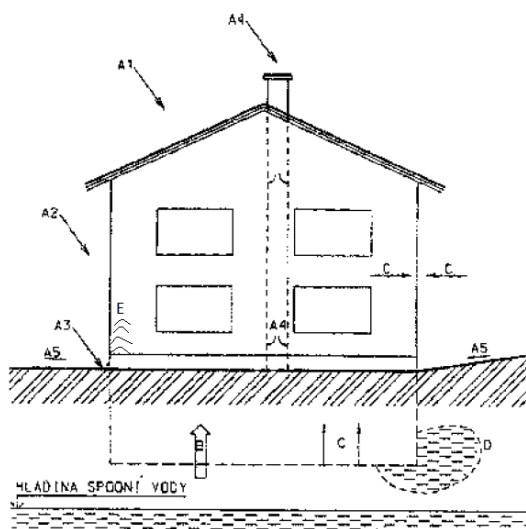
Projevy vlhkosti:

Prvním příznakem vlhkostních problémů objektu je obvykle porušení pohledové vrstvy stěny, tedy odlupování omítky či nátěru. Při narušení konstrukce vlivem vodorozpustných solí jako jsou sírany, chloridy, dusičnany a uhličitany dochází ke vzniku výkvětů a výluh [2].

Důsledky vlhkosti:

Vlivem působení vody a vodní páry na stavební konstrukci, dochází k narušení stavebního materiálu (rozpad omítkových vrstev, rozpad pojiva, narušení cihel) a biologickému znehodnocení objektu (vznik plísní).

#### 3.1. Zdroje vlhnutí zdiva



Obr. č. 8: Zdroje vlhnutí zdiva [5]

### Voda srážková

- Za vodu srážkovou považujeme vodu, která působí na konstrukci vlivem deště.
- Rozlišujeme pět typů působení srážkové vody:
  - voda srážková působící na střešní konstrukci- na obrázku označena A1
  - voda srážková hnaná větrem- na obrázku označena A2
  - voda srážková odstříkující- na obrázku označena A3
  - voda srážková pronikající komínovými průduchy- na obrázku označena A4
  - voda srážková povrchová- na obrázku označena A5

### Voda vzlínající

- Vodou vzlínající označujeme vodu působící na objekt ze zeminy.
- Narušení objektu vlivem vzlínající vlhkosti je závislé na hladině podzemní vody, na funkčnosti hydroizolace objektu, na kapilaritě a propustnosti zeminy a samozřejmě na nasákavosti použitého stavebního materiálu.
- Voda vzlínající je na obrázku označena písmenem B.

### Voda kondenzující

- Vodou kondenzující rozumíme vodu vzniklou kondenzací, kdy dochází k poklesu vnitřní teploty konstrukce pod teplotu rosného bodu, dojde k přeměně vodní páry na vodu kapalnou.
- Ke kondenzaci dochází jak v podzemních tak i nadzemních částech stavby. Nejčastěji se kondenzace projevuje v místech tepelných mostů.
- Voda kondenzující je na obrázku označena písmenem C.

### Voda působící hydrostatickým tlakem

- Za vodu působící hydrostatickým tlakem považujeme vodu, která proniká do konstrukce vlivem gravitace. Při výskytu většího množství vody dochází k vsakování vody do zeminy, pokud však tato voda narazí na méně propustnou vrstvu, dojde k pronikání vody do propustnějších vrstev. Často dochází k pronikání vody do konstrukce v místech nekvalitní hydroizolace.
- Voda působící hydrostatickým tlakem je na obrázku označena písmenem D.

### Hygroskopicitu stavebních materiálů

- Hygroskopicitu se projevuje u materiálu s vysokým obsahem solí s hygroskopickými vlastnostmi. Následně dochází k přijímání vlhkosti ze vzduchu.
- Vznik hygroskopických solí způsobuje vztlínající tvrdá voda, v zimním období odstříkující nasolená voda, dále také kyselé deště.
- Voda hygroskopická je na obrázku označena písmenem E.

### Voda z rozvodů instalací

- Tento zdroj vody v konstrukci nastává při poruše některého z rozvodů instalací.
- Rozeznáváme buď výskyt vody způsobený náhlou havárií či postupné zavlhčování konstrukce způsobené například netěsností spojů instalačních rozvodů.

### Technologická voda

- Technologickou vodou rozumíme vodu zabudovanou při stavebních pracích do konstrukce. Postupem času dochází k odpařování této vody z konstrukce.

## 4. Stavebně technický průzkum historických staveb

Cílem stavebně technického průzkumu je diagnostikovat geometrické, konstrukční a materiálové charakteristiky objektu a vady a poruchy, které ohrožují únosnost, použitelnost nebo funkčnost objektu (nebo jeho části). Stavebně technický průzkum dělíme na předběžný a podrobný (doplňkový průzkum).

U památkově chráněných objektů musíme brát ohled na zachování historické hodnoty. Při návrhu obnovy a rekonstrukce těchto objektů se zpravidla před stavebně technickým průzkumem provádí stavebně historický a architektonický průzkum. Tento průzkum se zaměřuje na dějiny stavby, vývoj stavby a konstrukcí a stavebně - historickým hodnocením, za použití pokud možno nedestruktivních metod [8]. Při nutnosti destruktivního zásahu do konstrukce je nutné předchozí schválení příslušného pracoviště památkové péče.

### Předběžný stavebně technický průzkum

Zaměřuje se na zjištění základních údajů o objektu a to z hlediska provozního využívání, stavebních úprav, návaznosti objektu na okolí a výčtu zjištěných vad a poruch. Při provádění předběžného i podrobného průzkumu památkových objektů se klade důraz na nedestruktivní zásahy do konstrukce, nesmí dojít k narušení nebo poškození památky. Průzkum směřujeme k získání informací o původním způsobu stavebního řešení objektu (například hydroizolačních opatření).

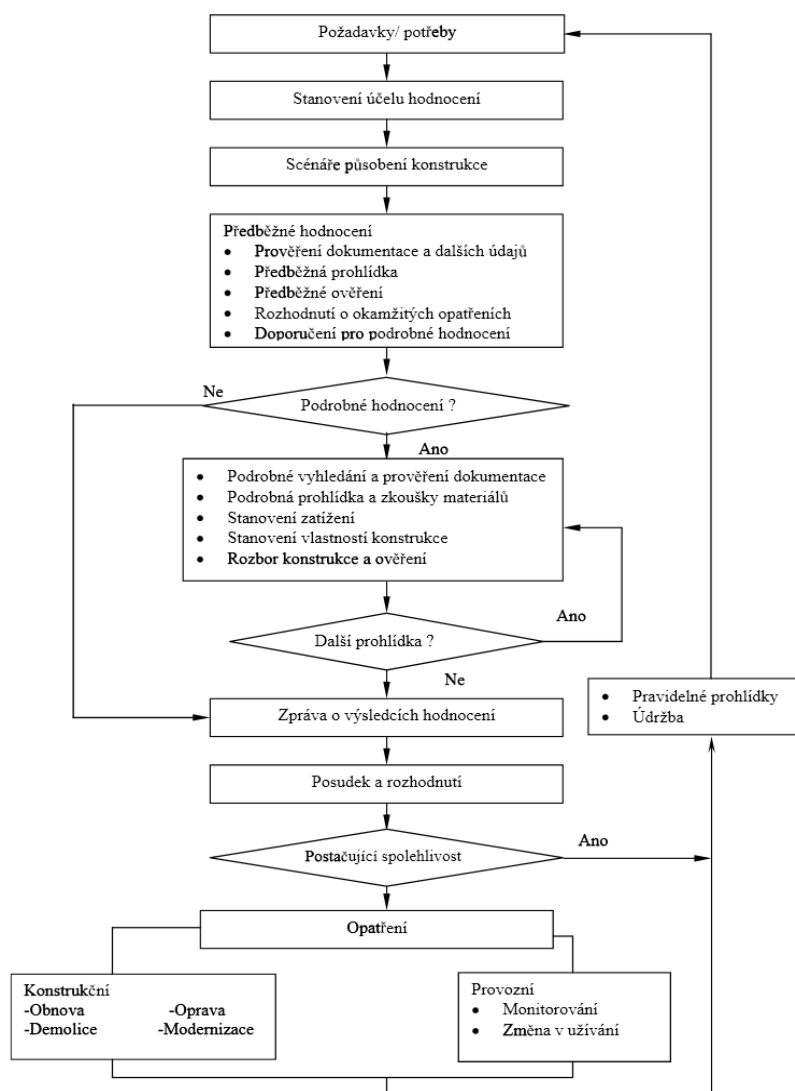
### Podrobný stavebně technický průzkum

Pokud pro určení příčiny vad a poruch nepostačuje předběžný průzkum nebo pokud mají vady a poruchy závažný charakter, provádíme podrobný stavebně technický průzkum. Jeho cílem je zpřesnění informací zjištěných předběžným stavebně technickým průzkumem. Zaměřuje se na stanovení příčin vad a poruch, fotodokumentaci stavu objektu, konkretizaci použitých stavebních materiálů a také na geologické a hydrogeologické podmínky. Provádí se za plného či částečně omezeného provozu, za pomoci nedestruktivních popřípadě destruktivních metod průzkumu. Zpracování informací podrobného stavebně technického průzkumu musí být dostatečným podkladem pro projekt sanace objektu, který by měl být u památkových objektů pokud možno zaměřen na obnovu původních stavebních řešení (například hydroizolačních opatření).

K upřesnění dalších nejasností plynoucích s předchozími stupni průzkumů se provádí doplňkový stavebně technický průzkum. Realizuje se v omezeném provozu většinou již při přípravách realizačních prací sanace, popřípadě současně s nimi.

Výsledkem stavebně technického průzkumu je zpráva obsahující [5]:

- Identifikační údaje objektu, objednatele a zhotovitele
- Zadání průzkumu
- Použité podkladové materiály
- Specifikace použitých přístrojů, způsob vyhodnocování konstrukce
- Popis objektu a jeho okolí
- Vyhodnocení vad a poruch objektu
- Návrh sanačních opatření či doporučení dalšího průzkumu



Obr. č. 9: Schéma postupu vyšetřování existující konstrukce [29]

## 5. Sanace vlhkého zdiva

Cílem sanačních opatření je snížit nežádoucí obsah vody v materiálu (resp. konstrukci) v plynném nebo kapalném skupenství. Principiálně se jedná o zabránění průniku vody do konstrukce, odstranění vody (vodní páry) z konstrukcí, snížení vnitřní vlhkosti vzduchu nebo zlepšení tepelně izolačních vlastností jednotlivých konstrukcí.

Pro sanaci vlhkého zdiva se užívá kombinace hydroizolačních metod přímých a nepřímých, doplněných o potřebná technická opatření.

Nepřímé hydroizolační metody jsou principiálně založeny na redukci negativních vnějších vlivů, které jsou následně příčinou zvýšené vlhkosti v objektu (konstrukci).

Mezi nepřímé hydroizolační metody řadíme:

- drenážní metody pro odvodnění okolí objektu
- vytváření přepážek a hydroizolačních clon v okolí objektu
- nucené a přirozené větrání místností
- pohlcování vnitřní vlhkosti pomocí sušících absorpčních a kondenzačních přístrojů
- vysušování konstrukcí pomocí proudu teplého vzduchu
- změna průběhu teploty v konstrukci a zvýšení teploty povrchu konstrukce pomocí tepelných izolací

Pro větší účinek metod přímých a nepřímých požíváme doplňkové hydroizolační systémy. Při nevhodném návrhu doplňkové metody může dojít k negativním výsledkům sanačních opatření. Nejčastěji se pro podporu funkce odvlhčení objektu užívají sanační omítkové systémy. Vlastnostmi sanační omítky je docíleno toho, že voda jako nositel rozpustných solí neprochází na povrch a rozpustné soli se usadí v první vrstvě sanační omítky, kde se voda mění ve vodní páru. Zdivo tak vysychá bez známek zasolení na povrchu omítky. Nevytvářejí se již výkvěty, jako je tomu u vysychajícího zdiva opatřeného běžnou omítkou [28]. Použití těchto systému u památkových objektů je však podmíněno cenností původních omítkových systému a také možným výskytem historicky cenných maleb. Proto je nutné před návrhem těchto opatření provést důkladný průzkum těchto hodnot památky. Dále mezi doplňkové metody řadíme konzervační nástřiky a nátěry a hydroizolační vrstvy mezi konstrukcí a terénem.

## 5.1. Přímé hydroizolační metody

Přímé hydroizolační metody zabráňují pronikání vlhkosti do konstrukcí.

Mezi přímé hydroizolační metody řadíme:

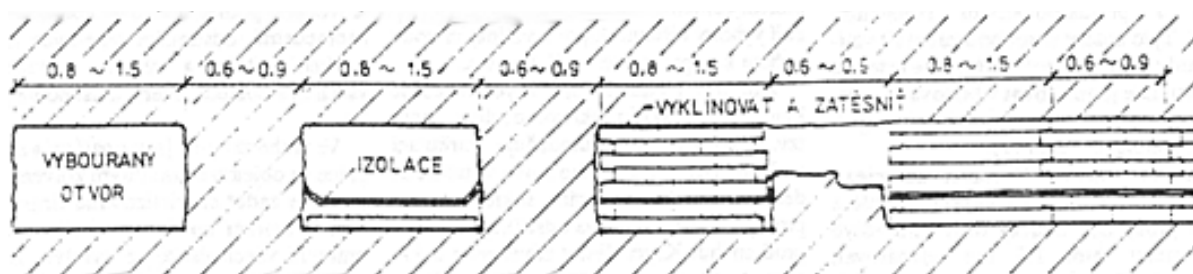
- vkládání hydroizolace do probouraných otvorů v konstrukci
- vkládání hydroizolace do ručně nebo strojně proříznuté ložné spáry
- zatloukání nerezových profilovaných plechů
- hydroizolace chemickými injektážními metodami
- izolace metodou aktivní elektroosmózy
- vzduchoizolační metody

### 5.1.1. Vkládání hydroizolace do probouraných otvorů v konstrukci

Principem metody je probourání otvorů o šířce 750mm až 900mm (popřípadě 1200mm). Velikost otvoru je závislá na statice objektu, stavu materiálu a tloušťce zdiva. Je nutné vynechání pilířů o minimální šířce 600mm. Probourání zdiva se provádí na výšku dvou až čtyř vrstev zdiva. Následně dojde k vyzdění jedné až dvou řad nových cihel, k zarovnání povrchu cementovou maltou a po zatvrdnutí je vkládána nová hydroizolace. Poté se dozdí zbývající vrstvy cihel a otvor se doklínuje plastovými klínky z obou stran konstrukce. Následně se postup opakuje u vynechaných pilířů. Je nutné dodržení minimálně 100mm přesahu hydroizolací, aby byla zajištěna její správná funkce. Poté je aplikováno injektování spáry pomocí cementové malty.

Nevýhodou této metody je vysoká pracnost, proto se používá u staveb menšího rozsahu a tam kde je složitá skladba konstrukce. Dalším problémem je statické riziko, které vzniká při vybourávání otvorů, použití této metody je podmíněno řádným zajištěním statiky budovy. Výhodou je vytvoření účinné izolační bariéry, avšak konstrukce pod touto izolací jsou nadále vystaveny působení vlhkosti.

Metoda je díky svému destrukčnímu charakteru nevhodná pro památkově chráněné objekty.



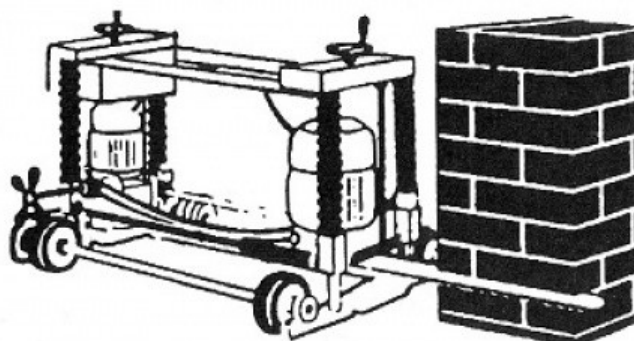
Obr. č. 10: Postup vkládání hydroizolace do probouraných otvorů [13]

### 5.1.2. Vkládání hydroizolace do ručně nebo strojně proříznuté ložné spáry

Rozlišujeme tři typy proříznutí spáry a to ruční, pomocí řetězové pily a pomocí pily s diamantovým lanem.

Ruční prořezávání zdiva se provádí například pomocí tesařské pily. Jedná se o velmi náročnou metodu používanou pro zděné konstrukce do tloušťek zdí 600mm. Po proříznutí je do spáry vložena hydroizolace, dojde k zaklínování a k vyplnění spáry cementovou maltou vhaněnou pod tlakem. Je nutné dodržení minimálního 100mm přesahu jednotlivých dílů hydroizolačních pásů.

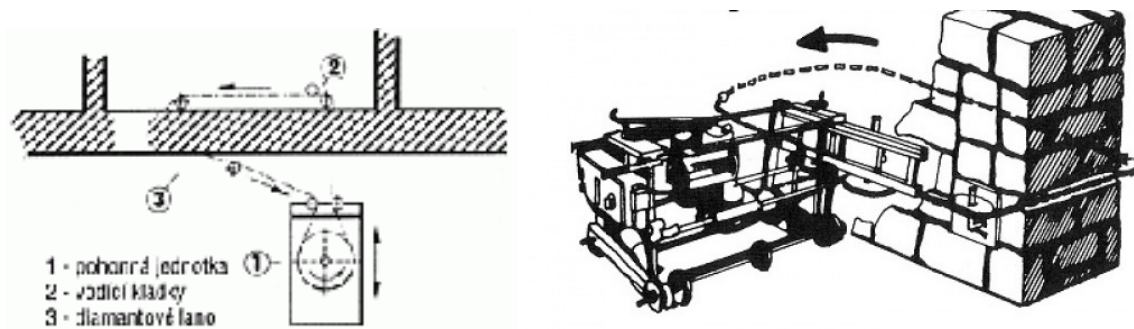
Při provádění prořezávání pomocí řetězové pily je nutné zajištění rovinnosti terénu, aby byl zajištěn bezproblémový pojezd stroje. Tento způsob se používá u cihelného zdiva, kdy tloušťka spáry je minimálně 10mm. Nejprve dojde k odstranění omítky v místě prořezání spáry, poté se nastaví zařízení do výšky budoucí prořezané spáry (je možné prořezání již ve výšce 70mm nad pojezdem stroje). Následně se prořezaná spára vyčistí a vloží se hydroizolace, která je zajištěna po obou stranách konstrukce plastovými klíny ve vzdálenostech 200 až 300mm. Jako u všech metod dodatečného vkládání izolace je důležité dodržení minimálního přesahu izolace 100mm. Proříznutá spára je následně vyplněna cementovou maltou.



Obr. č. 11: Prořezávání zdiva řetězovou pilou [21]

Pokud je tloušťka stěny širší než 600mm nebo je stěna tvořena materiály bez pravidelných spár (smíšené zdivo, betonové a kamenné konstrukce), použije se pro proříznutí diamantové lano. Stejně jako u prořezávání řetězovou pilou je nutné zajištění rovinnosti terénu. Nejprve dojde k provrtání konstrukce v místě proříznuté spáry ve vzdálenostech 4000 až 5000mm od sebe. Otvorem se protáhne diamantové lano, umístí se soustava vodících kladek a prořezávání je zajištěno postupným zkracováním smyčky tvořené kladkami a lanem. Následný postup po proříznutí spáry je stejný jako u prořezávání řetězovou pilou.





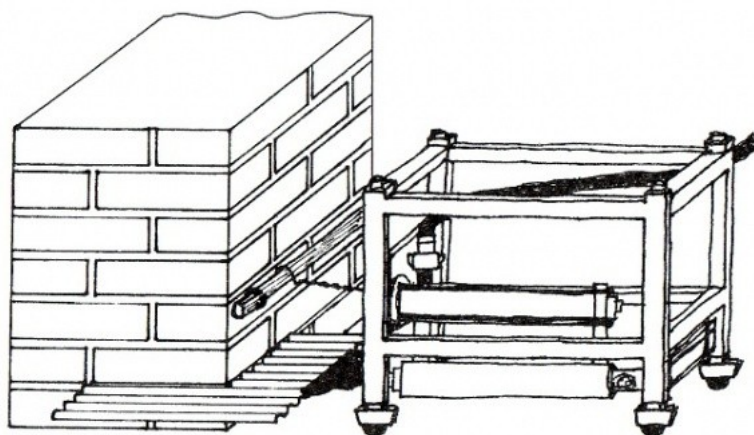
Obr. č. 12: Prořezávání zdiva lanovou pilou [13, 21]

Nevýhodou těchto metod je stejně jako u vkládání hydroizolace do probouraných otvorů či zarážení nerezových plechů, neodstranění vlhkosti v částech pod izolací a destruktivní charakter metody, tedy nevhodnost pro památkové objekty. Avšak metody vkládání dodatečných izolací patří mezi nejúčinnější způsoby dodatečné ochrany staveb proti vodě.

### 5.1.3. Zatluokání nerezových profilovaných plechů

Principem této metody je zarážení nerezových profilovaných plechů do zdi. Tuto metodu lze provádět u budov s průběžnou spárou do šířek zdí 1000mm pokud je přístup z jedné strany, pokud je možno zarážení z obou stran konstrukce je možné izolovat i širší zdi. Nerezové plechy se provádí v tloušťkách okolo 1,5mm. Důležité jsou adekvátní mechanické vlastnosti plechů, aby nedocházelo k deformacím plechu při jeho zarážení. Spojování se provádí buď překrytím dvou až tří vlnek plechu nebo pomocí spoje zámkového. Dochází k vytvoření účinné bariéry proti vlhkosti.

Nevýhodou této metody je však složitost řešení u rohů objektu, u instalací a také u objektů ležících v terénním spádu. Díky destruktivnímu charakteru metody není vhodné její požití u památkových staveb.



Obr. č. 13: Zatluokání nerezových profilovaných plechů [23]

#### 5.1.4. Hydroizolace chemickými injektážními metodami

Dochází k vytvoření izolační vrstvy jež zabraňuje vzlínání vlhkosti. Do vlhkého zdiva je provedena soustava vrtů, která je následně tlakové či beztlakově naplněna vhodným injektážním prostředkem. Injektovaná látka vyplní pórovou strukturu materiálu a dojde k vzniku účinné vlhkostní bariéry. Pro spolehlivý průnik injektážní látky je vhodné provedení oboustranné injektáže nebo dvouřadé šachovnicové injektáže.

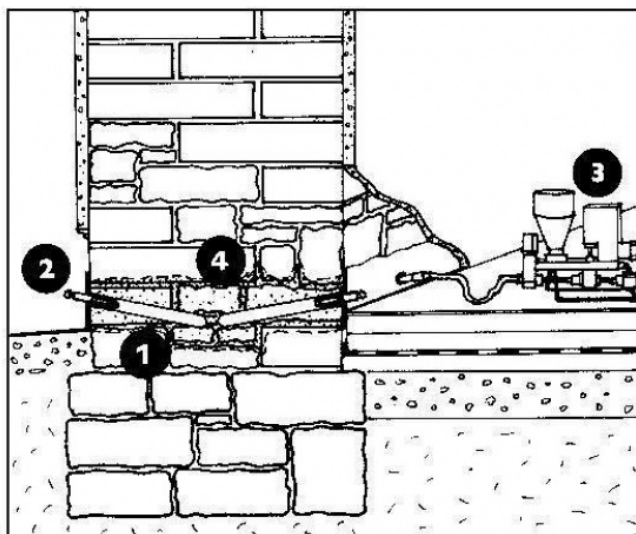
Beztlaková injektáž funguje na principu rozdílných výšek vývrtu a nádoby s injektážním prostředkem, kdy dochází k vsakování látky kapilární nasákavostí. Injektážní vrty se provádí v průměrech 18-32mm, ve sklonu 5-30° a vzdálenostech 100-125mm s hloubkou vrtu menší o 50-100mm než je tloušťka zdi [8].

Tlaková injektáž se provádí pomocí čerpadla, do vrtů o průměru 10-16mm. Díky lepšímu průniku injektážní látky umožňuje větší rozestupy vývrtů [8].

Volbu injektážního prostředku provádíme s ohledem na velikost pórů v materiálu, zohledňujeme vlhkostní stav zdiva a další aspekty materiálové, způsob injektáže a velikost a sklon vývrtů. Rozeznáváme tři typy injektážních prostředků a to utěšňující, hydrofobizační a kombinované.

Při volbě dodatečné izolace pomocí chemických injektáží je nutné brát ohled na velikost hmotnostní vlhkosti, která by neměla přesáhnout hodnotu 13%. Tato metoda se používá pouze pro vlhkost vzlínající. Dále je také nutné statické posouzení konstrukce z důvodu oslabení zdi při provádění vývrtů.

Metoda patří mezi nejšetrnější mechanickou metodu. Je však také nevhodná pro památkové stavby z důvodu zásahu do stávající konstrukce.



Obr. č. 14: Tlaková injektáž: 1- Injektážní vrty; 2- Injektážní pakr; 3- Tlakové čerpadlo; 4- Proinjektovaná zóna zdiva [22]

### 5.1.5. Izolace metodou aktivní elektroosmózy

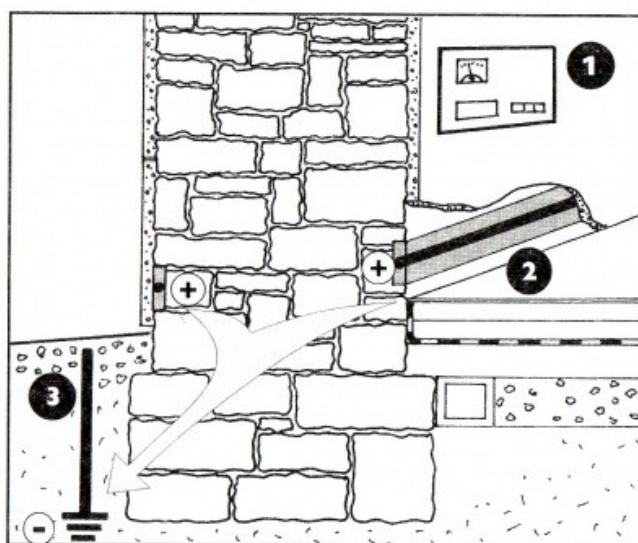
Elektroosmóza pracuje s potenciálem stejnosměrného elektrického proudu, jež zapříčiňuje snížení vlhkosti v konstrukci. Kladná elektroda je umístěna ve vlhkém zdivu a záporná je uzemněna v terénu, dochází k vytvoření elektrického pole a stlačování kladně nabitých molekul k záporné elektrodě. Kladná elektroda bývá tvořena například pásem z grafitové barvy nebo také celoplošnou síťovou elektrodou, záporná se nejčastěji provádí ve formě plastových vodivých tyčí plněných grafitem. Další součástí systému je rozvaděč aktivní elektroosmózy nebo také řídicí skříň, jejím úkolem je zajištění potřebného elektrického napětí nutného pro funkčnost celého systému.

Metoda aktivní elektroosmózy má řadu podmínek pro zajištění funkčnosti. Není vhodná u zdiva s vysokým obsahem solí (nad 1% hmotnosti solí), u silně mineralizovaných a agresivních vod, u materiálu s poloměrem pórů menších než  $10^{-7}\text{m}$ , dále také nesmí být v konstrukci nebo na konstrukci žádné kovové prvky [8].

Metoda je podmíněně vhodná pro památkově chráněné objekty. Nedochází k narušení nosných konstrukcí, kladná elektroda se pouze umístí pod vrstvu sanační omítky, která je nutná pro zajištění chodu elektroosmotického systému.

Legenda:

- ❶ Rozvaděč aktivní elektroosmózy  
zabezpečuje aktivní napojení s požadovanou účinností
- ❷ Pásová elektroda - anoda (+)  
korozně rezistentní elektrody zaručují dlouhou životnost
- ❸ Zemní elektroda - katoda (-)



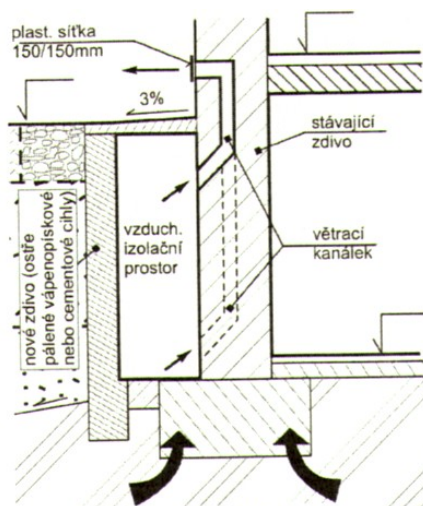
Obr. č. 15: Izolace metodou aktivní elektroosmózy [20]

### 5.1.6. Vzduchoizolační metody

Důležitá sanační metoda vhodná pro památkově chráněné objekty. Je založena na principu proudění suchého vzduchu v kanálcích, dutinách či vzduchových mezerách. Musí být zajištěna a ověřena potřebná intenzita proudění vzduchu a to buď rozdílem tlaků vzduchu mezi nádechovým a výdechovým otvorem nebo pomocí ventilátoru.

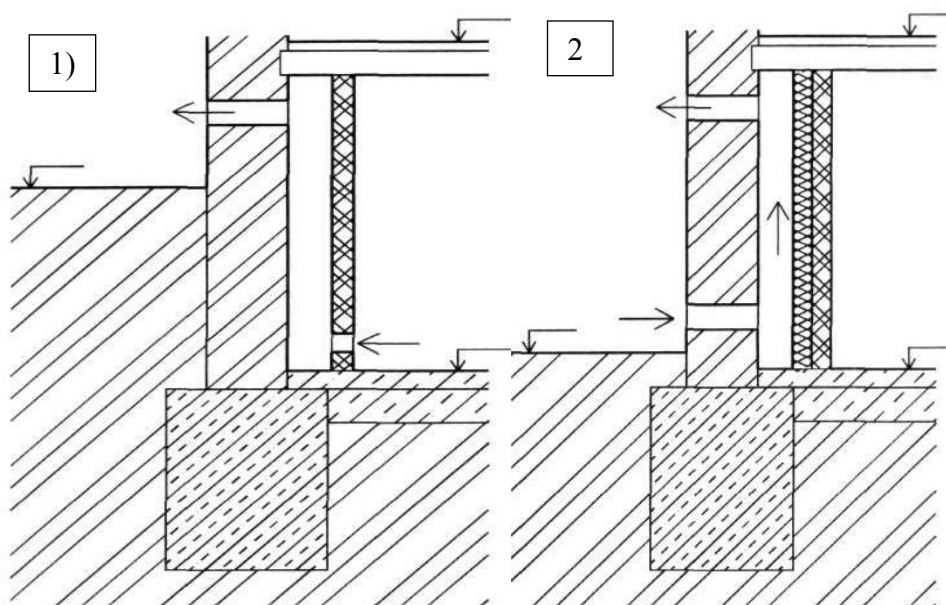
Dále ve vzduchové mezeře, kanálku či dutině nesmí docházet ke kondenzaci vodní páry, čemuž zabráníme zvětšením plochy odvětrávání.

Rozeznáváme svislé a vodorovné vzduchové systémy, v obou případech je přerušeno spojení zeminy s ostatními konstrukcemi a tak i přerušeno kapilární vztlínání vody do objektu. Svislé vzduchové systémy se vytvářejí z vnitřní či venkovní strany popřípadě s obou stran vlhké konstrukce pomocí předstěn. Vzduchová mezera se pohybuje v šířkách 100-300mm [8].



Obr. č. 16: Vnější vzduchová mezera [8]

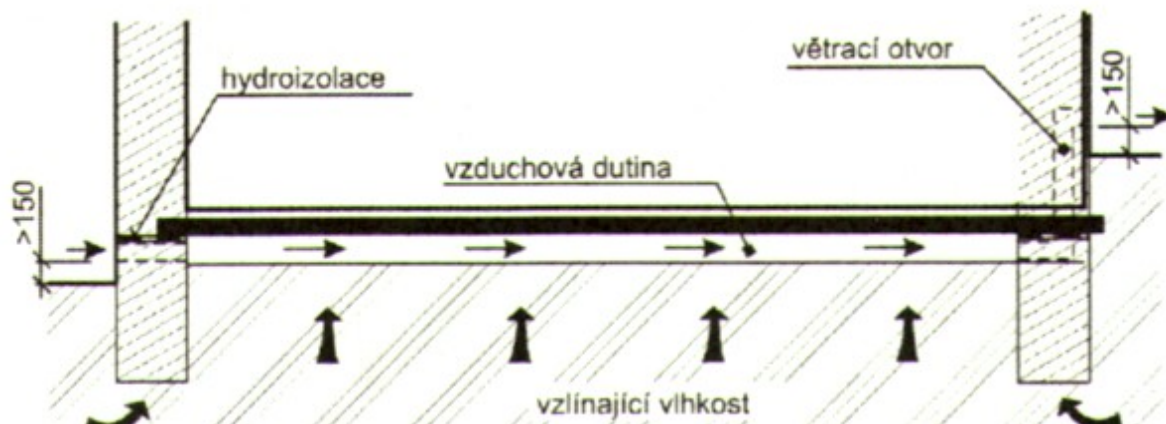
U předstěn z vnitřní strany objektu je velmi důležité zamezit kondenzaci vodní páry na straně předstěny přilehlé k vlhké zdi, čehož docílíme pomocí tepelné izolace na rubu předstěny.



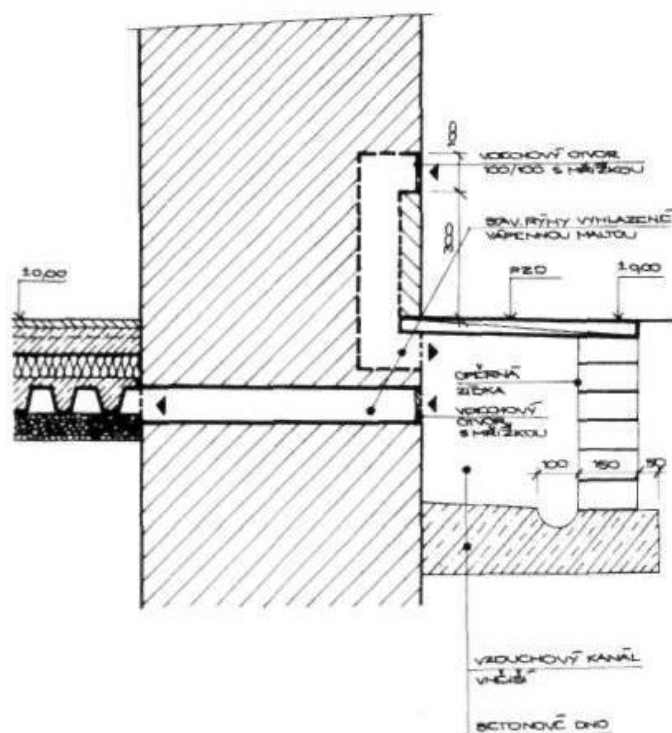
Obr. č. 17: Vzduchově izolační metody- předsazená stěna na vnitřní straně: 1- přívod vzduchu z interiéru odvod do exteriéru; 2- přívod vzduchu z exteriéru odvod do exteriéru [2]



Pro vodorovné vzchově izolační systémy se užívají vzduchové mezery v pohlahových konstrukcích, jsou tvořeny vzduchovými dutinami a to pomocí dřevěných roštů, profilovaných nopových fólií nebo také speciálními tvarovkami.

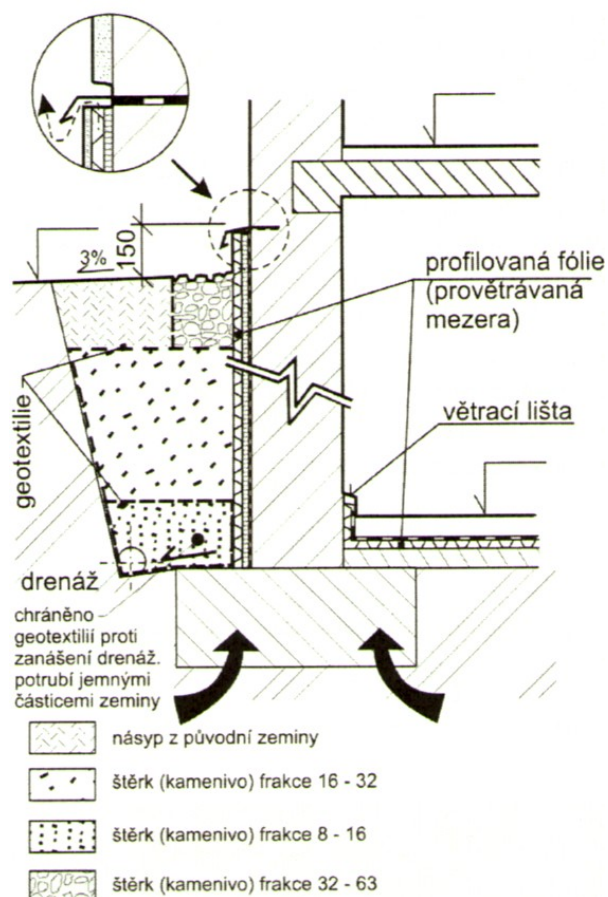


Obr. č. 18: Podlahová vzduchová mezera [8]



Obr. č. 19: Detail řešení výdechových a vdechových otvorů dutinové podlahy tvořené speciálními tvarovkami [2]

Nopové fólie se také často užívají pro ochranu svislého zdiva, jak na vnější či vnitřní straně zdiva, kde je důležité provedení těsného spojení jednotlivých fólií a tak vytvoření bariéry zabráňující přesunu vlhkosti ze zeminy do zdiva a současně i zabránění vzlínání vlhkosti.



Obr. č. 20: Izolace pomocí profilovaných fólií [8]

Dále k vzduchově izolačním metodám řadíme anglické dvorky a otevřené příkopy. Zde dochází k účinnému snížení vlhkosti zdiva vlivem intenzivního odvětrávání a odpařování. Je nutné dbát na odvod vody ze dna příkopu a také zamezit promrzání základů. Hloubka příkopu by měla zasahovat pod úroveň podlahy.

## 6. Experimentální část - Předběžný stavebně technický průzkum některých objektů Kláštera premonstrátů v Želivě

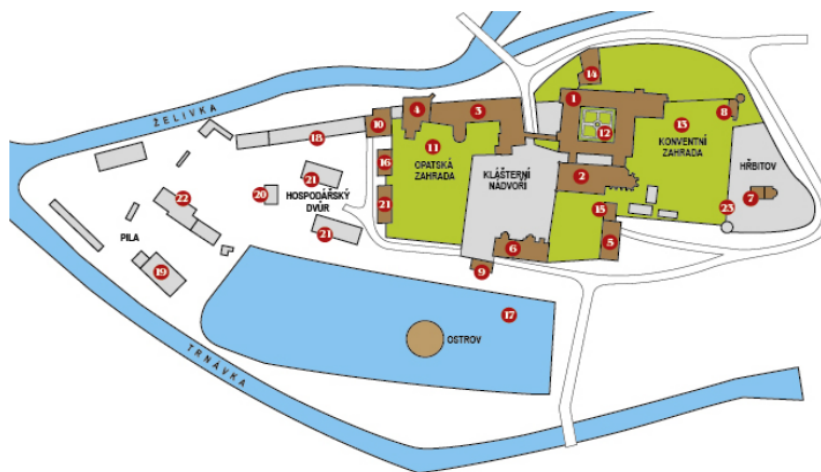
### Úvod

Želivský klášter se nachází v obci Želiv ležící v kraji Vysočina. V tomto kraji spadá mezi nejvýznamnější památky svého druhu. Jeho cennost spočívá především v různorodosti slohů na relativně malé ploše (viz foto č. 1). Významnou architektonickou hodnotu kláštera dodalo také působení architekta Jana Blažeje Santiniho. V roce 2010 byl Želivský klášter zapsán na seznam národních kulturních památek.



Foto č. 1: Letecký pohled na areál Želivského kláštera

Klášter je situován na západním konci obce Želiv směrem na Křelovice. Areál kláštera leží mezi řekami Želivka a Trnávka (viz obr. č. 21).



- 1 Konvent
- 2 Kostel Narození Panny Marie
- 3 Opatství
- 4 Trčkův hrad
- 5 Stará prelatura
- 6 Úřednický dům
- 7 Kostel sv. Petra a Pavla
- 8 Dům s baštou

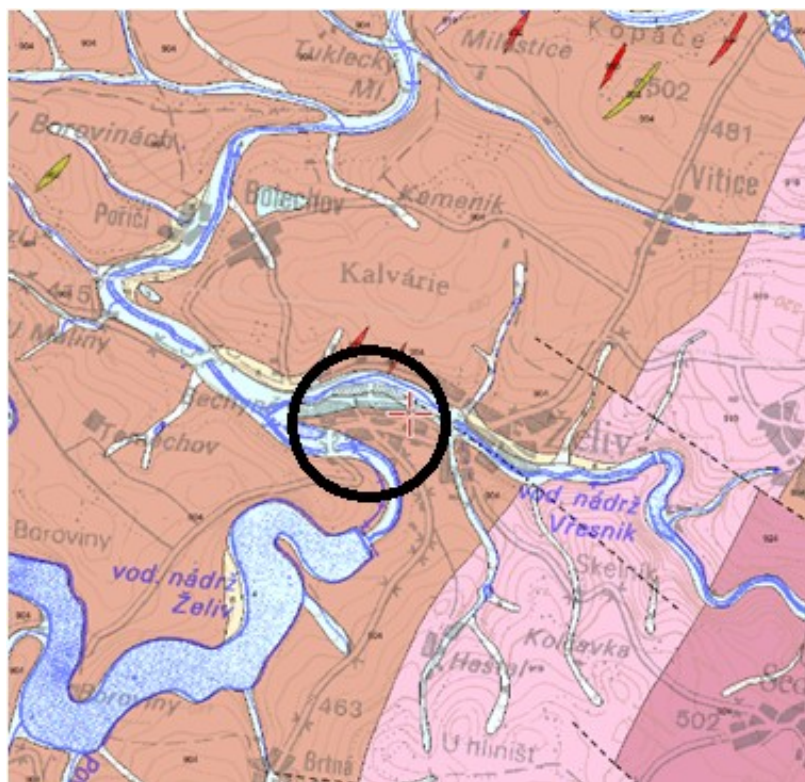
- 9 Zahradní domek
- 10 Renesanční dům
- 11 Opatská zahrada
- 12 Rajský dvůr
- 13 Konventní zahrada
- 14 Dům pod klášterem
- 15 Dům čp. 52
- 16 Dům čp. 116

- 17 Panský rybník
- 18 Stáje Stables Ställe
- 19 Pila
- 20 Strážní vížka
- 21 Stodoly Barns Scheunen
- 22 Bývalá mýdlárna
- 23 Bývalé hradby













Obr. č. 21: Koncepce areálu Kláštera premonstrátů v Želivě [25]

Z hlediska geologie je klášter situován na metamorfovaných horninách, pararulách viz obr. č. 22. Jedná se o geologicky složité území.



Obr. č. 22: Geologická situace okolí Želivy [18]

	<b>3: říční sedimenty (písek, štěrk)</b> Stáří: kvartér, Typ hornin: sedimenty nezpevněné, Geologický region: kvartér Českého masivu a Karpat
	<b>4: nivní sedimenty (hlína, písek, štěrk)</b> Stáří: kvartér, Typ hornin: sedimenty nezpevněné, Geologický region: kvartér Českého masivu a Karpat
	<b>5: splachové sedimenty (hlína, písek, štěrk)</b> Stáří: kvartér, Typ hornin: sedimenty nezpevněné, Geologický region: kvartér Českého masivu a Karpat
	<b>6: svahové sedimenty (hlína, písek)</b> Stáří: kvartér, Typ hornin: sedimenty nezpevněné, Geologický region: kvartér Českého masivu a Karpat
	<b>832: žilný granit (žula)</b> Stáří: svrchní paleozoikum, Typ hornin: magmatické intruze, Geologický region: moldanubikum- moldanubický pluton
	<b>850: žilný křemen</b> Stáří: svrchní paleozoikum, Typ hornin: magmatické intruze, Geologický region: moldanubikum- moldanubický pluton
	<b>902: kvarcit, pararula</b> Stáří: paleozoikum až proterozoikum, Typ hornin: metamorfity, Geologický region: moldanubikum
	<b>904: pararula</b> Stáří: paleozoikum až proterozoikum, Typ hornin: metamorfity, Geologický region: moldanubikum
	<b>919: ortorula</b> Stáří: paleozoikum až proterozoikum, Typ hornin: metamorfity, Geologický region: moldanubikum
	<b>924: migmatit</b> Stáří: paleozoikum až proterozoikum, Typ hornin: metamorfity, Geologický region: moldanubikum

Obr. č. 23: Legenda geologie okolí Želivy [18]



## 6.1. Analýza historických podkladů

Areál kláštera se řadí mezi nejstarší na území České republiky, jeho počátky se datují již v roce 1144, kdy byl založen pražským biskupem Otou. V roce 1149 do kláštera přichází premonstráti vedení opatem Gotšalkem. V tomto období od až do roku 1184 se stává klášter jedním z nejvýznamnějších klášterních středisek. V roce 1375 areál kláštera postihuje rozsáhlý požár. Další rány klášternímu komplexu daly husitské války, kdy došlo k vyplenění kláštera. V letech 1467-1468 dochází ke konfiskaci všech statků kláštera, které byly zastaveny Burianu Trčkovi z Lípy. Ten zahajuje v areálu výstavbu goticko - renesančního tzv. Trčkova hradu. Obnovení premonstrátů na Želivském klášteře nastává až v roce 1623. O dvacet let později dosahuje klášterní areál osamostatnění. V roce 1712 dochází k požáru kostela i konventu, za pomoci dobrodinců byly největší škody do osmy let odstraněny. Při přestavbě kostela do stylu barokní gotiky působil také významný architekt Jan Blažej Santini. Na počátku 20. století vzniká v klášterním areálu další požár. Následně v roce 1950 byli premonstráti z kláštera vyhnáni a klášter sloužil jako internační tábor až do roku 1956, kdy se z kláštera stává psychiatrická léčebna s působností do roku 1993, v tomto roce se do areálu vracejí premonstráti. Za dob psychiatrie došlo k poškození významných hodnot klášterních prostor a k chátrání celého komplexu.

### Historický vývoj kláštera



Obr. č. 24: Historický vývoj kláštera [26]

## 6.2. Průzkum vlhkosti zdiva

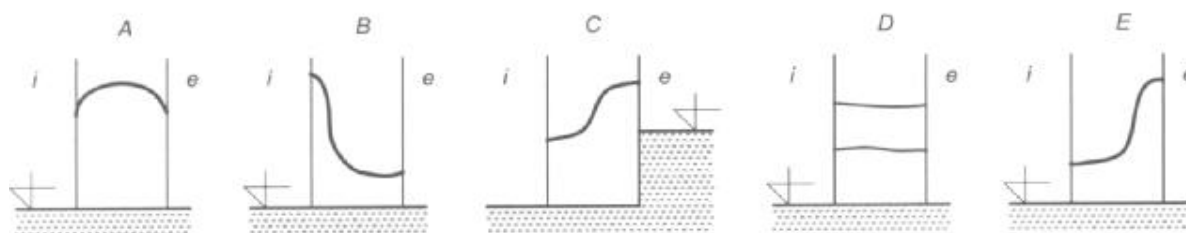
Vlhkost nám udává poměr hmotnosti vody k hmotnosti suchého vzorku. Hodnotu vlhkosti získáváme za pomoci metod destruktivních a nedestruktivních.

Norma ČSN P 73 0610 klasifikuje vlhkostní hmotnost takto [8]:

$w_h < 3 \%$ hmotnosti	– vlhkost velmi nízká
$3 \% < w_h < 5 \%$ hmotnosti	– vlhkost nízká
$5 \% < w_h < 7,5 \%$ hmotnosti	– vlhkost zvýšená
$7,5 \% < w_h < 10 \%$ hmotnosti	– vlhkost vysoká
$w_h > 10\%$ hmotnosti	– vlhkost velmi vysoká

### Destruktivní metody:

U destruktivních metod dochází k odběru vzorků z hloubek 100mm až 150mm pod povrchem konstrukce pomocí elektrického vrtacího kladiva a sekáče. Velikost vzorku musí reprezentovat zkoumanou konstrukci. V praxi dochází k odběru vzorků o velikosti 50 až 200g. Pro zjištění vlhkostního profilu se vzorky odebírají v určitých hloubkách a výškách nad sebou [2].



Obr. č. 25: Vlhkostní profily: A - vlhkost vztlínající; B - povrchová kondenzace na vnitřní straně zdiva; C - vztlínající vlhkost a kondenzovaná; D - hygroskopická vlhkost; E – pronikání dešťové vody [2]

### Gravimetrická metoda

Hmotnostní obsah vlhkosti se určuje laboratorně na odebraných vzorcích. Princip spočívá ve změně hmotnosti vlhkého vzorku po vysušení, výsledkem je hmotnostní vlhkost. Další možností vyjádření stavu vlhkosti materiálu je objemová vlhkost, jež předpokládá, že nedochází ke změně objemu vzorku.

Hmotnostní vlhkost:

$$w_h = \frac{m_k}{m_s} = \frac{m_w - m_s}{m_s} \quad [\%] \quad (1)$$

Objemová vlhkost:

$$w_0 = \frac{V_K}{V} = \frac{m_w - m_s}{\rho_K * V} \quad [\%] \quad (2)$$

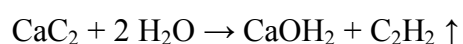
kde:

$m_s$ .....	hmotnost suchého vzorku	[kg]
$m_w$ .....	hmotnost vlhkého vzorku	[kg]
$m_k$ .....	hmotnost kapaliny	[kg]
$\rho_k$ .....	hustota kapaliny	[m <sup>3</sup> ]
$v$ .....	objem celé látky	[m <sup>3</sup> ]
$v_k$ .....	objem kapaliny	[m <sup>3</sup> ]

### Karbidová metoda

Další používanou a dostatečně přesnou metodou je metoda karbidová, jež slouží k určení vlhkosti vzorku přímo na stavbě. Princip je založen na chemické reakci vody obsažené v rozdrčeném vzorku zkoušeného materiálu s karbidem vápníku za vzniku acetylenu. Podle množství vzniklého acetylenu měřeného tlakoměrem se určí vlhkost zkoušeného vzorku.

Rovnice rozkladu [19]:



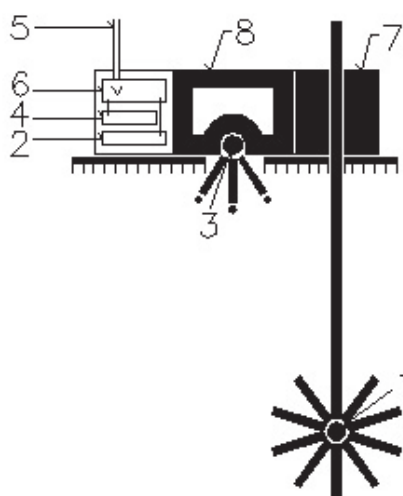
Obr. č. 26: Karbidový přístroj [17]

### Nedestruktivní metody:

Při použití nedestruktivních metod průzkumu vlhkosti nedochází k narušení konstrukce. Mezi nedestruktivní metody řadíme metody radiometrické, metody infračervené termografie a zjišťování vlhkosti materiálu pomocí elektrických měřicích přístrojů.

#### Radiometrická metoda

Metoda radiometrická je založena na tlumení, průchodu a rozptylu neutronů převážně atomů vodíku. Ve vlhkém prostředí dochází k zpomalování neutronů díky srážkám s vodíkovými jádry [24]. Radiometrické metody dělíme na hloubkové, povrchové a kombinované.



Obr. č. 27: Kombinovaná radiometrická metoda: 1- gamazářič; 2- detektor záření gama; 3- neutronový zářič; 4- detektor pomalých neutronů; 5- výstup k vyhodnocovací jednotce; 6- předzesilovač; 7- přepravní kryt gamazářiče; 8- přepravní kryt neutronového zářiče [24]



Obr. č. 28: Radiometrická metoda v praxi [24]

### Infračervená termografie

Metoda infračervené termografie slouží pro konkrétnímu zobrazení míst s větší vlhkostí. Tyto místa se vyznačují větší vodivostí a nižší teplotou konstrukce (na termografickém snímku místa zobrazena fialovou až modrou barvou). Nevýhodou této metody je zjištění pouze povrchového stavu konstrukce a také získání pouze nekonkrétních informací.



Obr. č. 29: Termografický snímek podlahy [17]

### Elektrické metody

Elektrické měřicí přístroje rozdělujeme na kapacitní a odporové. Tyto přístroje jsou založeny na měření fyzikálních veličin, konkrétně elektrického odporu a kapacity, jež ovlivňuje vlhkost přímým způsobem. Elektrické přístroje jsou prioritně určeny pro dřevěné konstrukce, u zděných a betonových konstrukcí dochází k měření pouze na povrchu konstrukce. Hodnoty vlhkosti zdiva jsou tedy zkreslené.



Obr. č. 30: Odporový vlhkoměr [17]



Obr. č. 31: Příložný vlhkoměr [17]

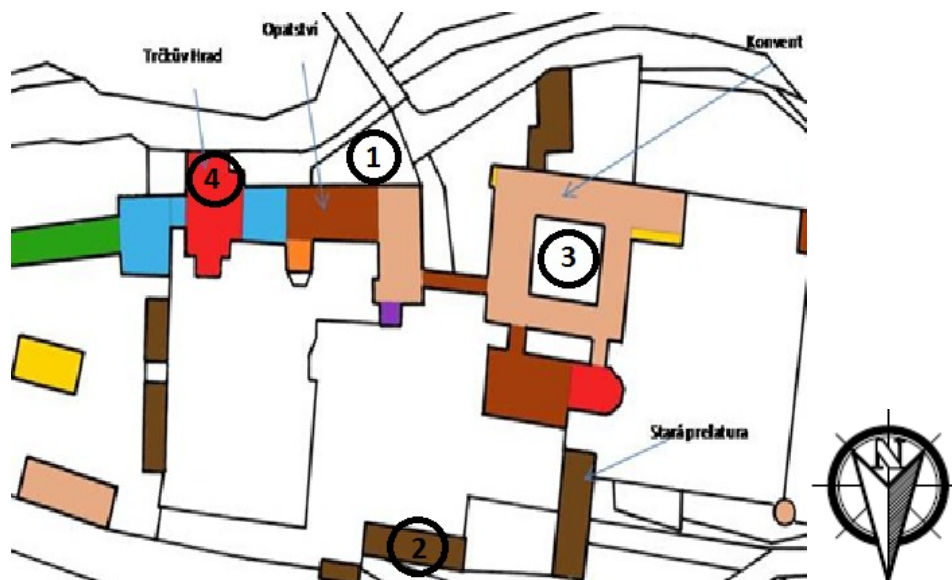
### 6.3. Průzkum Kláštera premonstrátů v Želivě, diagnostika vad a poruch

Cílem měření byla především specifikace rozsahu a identifikace poruch, které vznikají vlivem zvýšené vlhkosti a stanovení příčin těchto poruch. Z důvodu památkové ochrany objektu nebylo možné použití destruktivních diagnostických metod.

Stanovení hodnot vlhkosti probíhalo na místech trpících vlhkostními problémy a na místech schválených pověřenou osobou (správcem objektu).

Průběh experimentálního měření byl zaměřen na:

- 1) Objekt opatství - zeď severní (viz obr. č. 32)
- 2) Sklepní prostory úřednického domu (viz obr. č. 32)
- 3) Rajský dvůr konventu (viz obr. č. 32)
- 4) Apartmán umístěný v Trčkově hradu (viz obr. č. 32)



Obr. č. 32: Místa měření hodnot vlhkosti [26]

Pro měření byl použit odporový vlhkoměr GMH 3850. Přístroj disponuje pamětí s 466 druhy dřevin a 25 druhy stavebních materiálů.



Foto č. 2: Odporový vlhkoměr GMH 3850



### Postup měření:

1. Měření probíhalo za pomoci kartáčových elektrod. Nejprve došlo k vyvrtání dvou otvorů o průměru 8mm ve vzdálenosti 8-10 cm od sebe (viz foto č. 3) pomocí akumulátorové vrtačky, následně se vyvrtané otvory pročistily pomocí profouknutí a kartáčku. Dále byly otvory utěsněny silikonem a označeny (viz foto č. 4) a po dobu 12 hodin ponechány uzavřené z důvodu ustálení vlhkosti v měřeném materiálu.



*Foto č. 3: Vrtání otvorů pro kartáčové elektrody*



*Foto č. 4: Utěsnění otvorů pomocí silikonu*

2. Po ustálení vlhkostní situace uvnitř materiálu proběhlo měření. Na vlhkoměru byl nastaven zkoušený materiál ve většině případech cihla (v přístroji označena jako b4). Elektrody byly umístěny do vyvrtaných otvorů (viz foto č. 5) a následně proběhlo měření do ustálené hodnoty zobrazené na displeji vlhkoměru (viz foto č. 6). Měření probíhalo ve dvou variantách, s použitím vodivé pasty a bez použití vodivé pasty.



*Foto č. 5: Vložení elektrod do vyvrtaných otvorů*



*Foto č. 6: Měření vlhkosti*



*Foto č. 7: Měření pomocí vodivé pasty*

### **6.3.1. Objekty opatství**

Dnešní podoba objektu opatství pochází z počátku 20. století, kdy byl areál obnoven po požáru. Objekt se nachází v blízkosti vodního toku Želivky. V současnosti slouží jako ubytovací zařízení a část objektu jako pivovar. Stavba je dvoupodlažní s částečnými sklepními prostory.



*Foto č. 8: Severní zeď opatství*



Na objektu proběhlo měření vlhkosti odporovým vlhkoměrem dle výše uvedeného postupu, viz kapitola 6.3, doplněné o měření výšek vlhkostních map, kde je značně patrné, že vlhkostní problémy na daném objektu jsou nezanedbatelné. Maximální výška vlhkostní mapy je patrná u okapového svodu v západním rohu mezi renesanční a gotickou částí opatství viz foto č. 9, kde dosahuje celé výšky objektu.



*Foto č. 9: Maximální výška vlhkostní mapy na objektu opatství*



*Obr. č. 33: Vlhkostní mapy opatství - severní stěna*

Na budově byly provedeny tři sondy v místech největší poruchy (S1) a v místě typické poruchy (S2, S3). Naměřené vlhkostní výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 1.

**Tabulka č.1: Přehled naměřených hodnot vlhkosti severní zdi opatství pomocí odporového vlhkoměru typu GMH 3850**

OZNAČENÍ SONDY	EXTERIÉR/ INTERIÉR	VÝŠKA ODBĚRU OD PODLAHY/ TERÉNU [M]	HLOUBKA ODBĚRU POD TERÉNEM [CM]	VLHKOST BEZ POUŽITÍ PASTY [%]	VLHKOST S POUŽITÍM PASTY [%]	MATERIÁL	POZNÁMKA
S1	EXTERIÉR	0,72	4,5	29,2	> 40	CIHLA	OPATSTVÍ
S2	EXTERIÉR	0,82	4,5	16,3	38,5	CIHLA	OPATSTVÍ
S3	EXTERIÉR	0,87	5	31,3	39,4	CIHLA	OPATSTVÍ

Pro doplnění měření byl proveden také odběr vzorku části cihly (viz foto č. 10). Cílem bylo porovnání hodnot získaných odporovým vlhkoměrem a hodnot získaných při gravimetrické zkoušce.



*Foto č. 10: Odběr vzorku pro gravimetrickou zkoušku*

Po odběru byl vzorek uložen do vzduchotěsného obalu a označen identifikačními údaji (viz foto č. 11). Následně byl vzorek v laboratoři uložen do sušičky po dobu 48hodin, kdy došlo k ustálení hmotnosti. Vysušování probíhalo při teplotě 105°C.

Výsledná hodnota vlhkosti vzorku se určila jako:

$$w_h = \frac{m_k}{m_s} = \frac{m_w - m_s}{m_s} \quad [\%] \quad (1)$$

kde:

$m_s$  ..... hmotnost suchého vzorku [g]

$m_w$  ..... hmotnost vlhkého vzorku [g]

Výsledky měření vlhkosti jsou zobrazeny v tabulce č. 2.



Foto č. 11: Digitální váhy (vlevo), vzduchotěsný obal se vzorkem (vpravo)

**Tabulka č. 2: Přehled naměřených hodnot vlhkosti severní zdi opatství pomocí gravimetrické metody**

OZNAČENÍ VZORKU	EXTERIÉR/ INTERIÉR	VÝŠKA ODBĚRU OD PODLAHY/ TERÉNU [M]	HLOUBKA ODBĚRU POD TERÉNEM [M]	VLHKOST $w_h$ [%]	HMOTNOST PO ODBĚRU $m_w$ [g]	HMOTNOST PO SUŠENÍ $m_s$ [g]
V1	EXTERIÉR	1,6	NA OKRAJI KONSTRUKCE	5,3	206,5	196,2

### 6.3.2. Sklepní prostory úřednického domu

Úřednický dům byl vystavěn roku 1907 v pseudobarokním slohu. V roce 1950 byl doplněn o jedno patro a o obytné podkroví. Poslední rekonstrukce objektu proběhla v roce 1988. V dnešní době objekt slouží jako bytový dům.

Objekt je dvou podlažní s obytným podkrovím a částečným podsklepením nacházejí se mezi dvěma vížkami. Hlavní vchody od objektu jsou situovány u vížek, další vchod se nachází

na zadní straně stavby, kde je umístěn obchod s potravinami. Interiér je vybaven dvěma schodišti situovanými u hlavních vchodů. Fasády je omítaná, ze zadní strany obložená kamenem.

Problematika zvýšené vlhkosti objektu je patrná zejména v podzemních prostorech uvnitř objektu, kde vysoké hodnoty vlhkosti způsobují růst plísní. Zavlhnutí řešených problémových prostor dosahovalo po celé výšce stěn a vyskytovalo se také na stropních konstrukcích.



*Foto č. 12: Úřednický dům*



*Foto č. 13: Sklepní prostory úřednického domu*

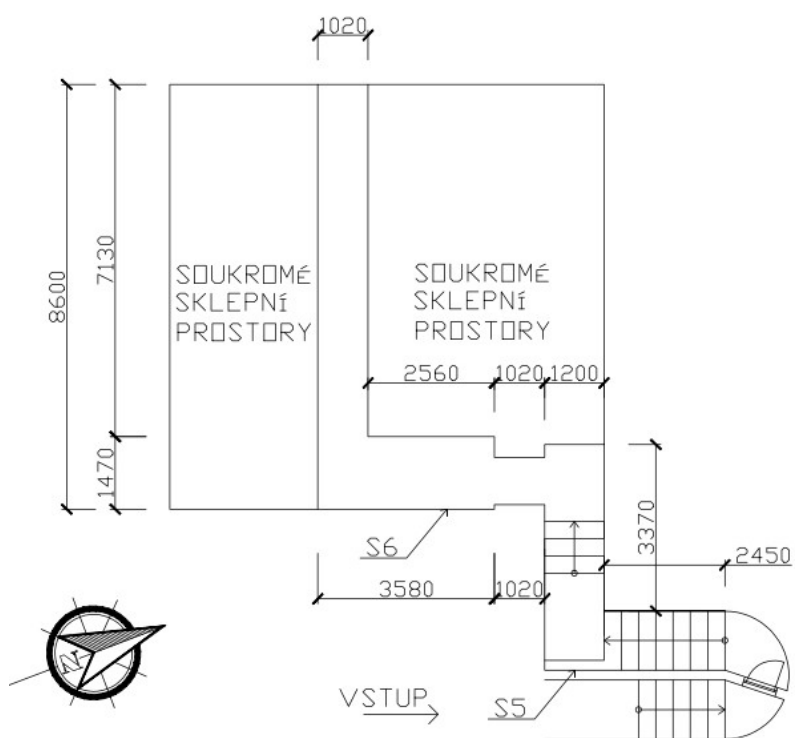
Na objektu úřednického domu bylo také provedeno měření výšky vlhkostních map (viz obr. č. 34), kdy maximální výška vlhkostní mapy se vyskytovala v místech sklepních prostor a dosahovala výšky až 167 cm. Minimální výška vlhkosti činila 54 cm.





Obr. č. 34: Vlhkostní mapy úřednického domu

Měření bylo provedeno ve sklepních prostorech domu ve dvou sondách S5 a S6. Kde sonda S5 představovala místo s maximální poruchou a sonda S6 místo s typickou poruchou. Místa měření jsou znázorněna na obr. č. 35.



Obr. č. 35: Půdorys sklepních prostor úřednického domu

Meření probíhalo pomocí odporového vlhkoměru. Výsledky měření jsou znázorněny v tabulce č. 3.

**Tabulka č. 3: Přehled naměřených hodnot vlhkosti sklepních prostor úřednického domu**

OZNAČENÍ SONDY	EXTERIÉR/ INTERIÉR	VÝŠKA ODBĚRU OD PODLAHY/ TERÉNU [M]	HLOUBKA ODBĚRU POD TERÉNEM [CM]	VLHKOST BEZ POUŽITÍ PASTY [%]	VLHKOST S POUŽITÍM PASTY [%]	MATERIÁL	POZNÁMKA
S5	INTERIÉR	0,57	4,5	> 40	> 40	CIHLA	ÚŘEDNÍ DŮM-SKLEP
S6	INTERIÉR	1,25	5	35,1	> 40	CIHLA	ÚŘEDNÍ DŮM-SKLEP

### 6.3.3. Konvent - obvodové zdivo v rajském dvoře

Dnešní podoba rajského dvora je datována na rok 1688. Dvůr je čtvercového půdorysu o délce strany cca 27m. Obvodové stěny jsou tvořeny sloupy a výplňovými stěnami, pravděpodobně ze smíšeného zdiva. Odvodnění bylo řešeno pomocí anglických dvorků, jejichž dnešní stav je velmi zanedbaný (viz foto. č. 15). Dále v některých místech jsou patrné pozůstatky původních opatření proti vztlínání vody z podloží do nadzemních částí konstrukcí.

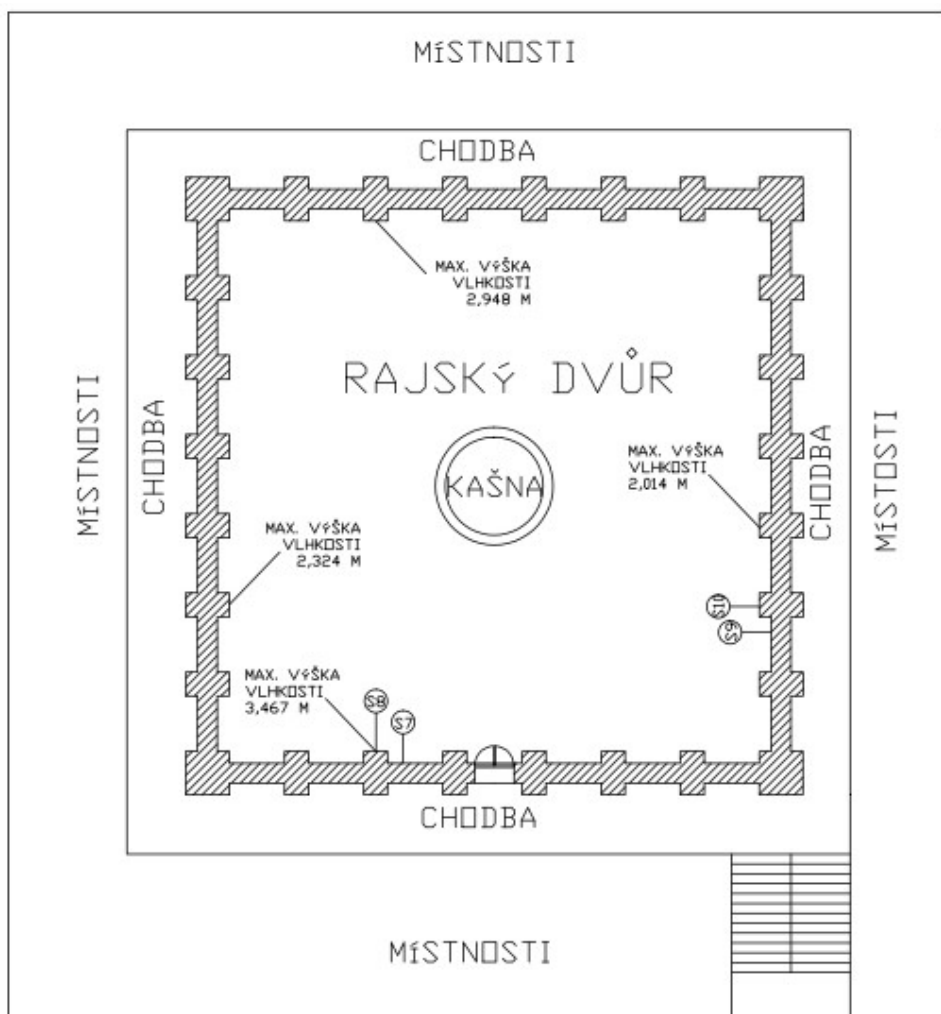


*Foto č. 14: Konvent - rajský dvůr*



Foto č. 15: Původní opatření odvodnění rajského dvora

V rajském dvoře bylo provedeno měření vlhkosti, kde maximální výška vlhkosti dosahovala výšky 3,467 m nad upraveným terénem. Byly zde provedeny čtyři sondy zjišťující hodnotu vlhkosti zdiva v konstrukci. Sondy byly prováděny na sloupu a na mu nejbližší stěně. Sondy S7 a S8 představovaly místa s maximální poruchou a sondy S9 a S10 místa s typickou poruchou. Umístění sond je znázorněno na obr. č. 36.



Obr. č. 36: Půdorys konventu

Měření probíhalo pomocí odporového vlhkoměru GMH 3850 s využití kartáčových elektrod a to ve dvou variantách, s použitím vodivé pasty a bez použití vodivé pasty.

Výsledné hodnoty naměřené vlhkosti rajského dvoru jsou zobrazeny v tabulce č. 4.

**Tabulka č. 4: Přehled naměřených hodnot vlhkosti konventu - obvodového zdiva rajského dvoru**

OZNAČENÍ SONDY	EXTERIÉR/INTERIÉR	VÝŠKA ODBĚRU OD PODLAHY/TERÉNU [M]	HLOUBKA ODBĚRU POD TERÉNEM [CM]	VLHKOST BEZ POUŽITÍ PASTY [%]	VLHKOST S POUŽITÍM PASTY [%]	MATERIÁL	POZNÁMKA
S7	EXTERIÉR	0,78	6	12,1	23,1	CIHLA	RAJSKÝ DVŮR
S8	EXTERIÉR	0,65	5	11,4	39,1	CIHLA	RAJSKÝ DVŮR
S9	EXTERIÉR	0,69	5,5	25	39,2	CIHLA	RAJSKÝ DVŮR
S10	EXTERIÉR	0,72	5	22,8	35,6	CIHLA	RAJSKÝ DVŮR

#### 6.3.4. Trčkův hrad

Objekt pochází z druhé poloviny 15. století. V průběhu let došlo k několika přestavbám. Objekt je tvořen dvěma křídly, výhodní křídlo je jednopatrové a západní dvoupatrové. V jižní části je objekt také podsklepen. Zdivo svislých konstrukcí je tvořeno lomovým kamenem patrným na foto č. 16.



*Foto č. 16: Trčkův hrad - místo měření*



V objektu Trčková hradu bylo provedeno měření v problémovém místě apartmánu. Vlhkostní mapy se vyskytovaly pouze na vnitřním ostění okna (viz foto č. 17). Porucha byla tedy pouze lokálního charakteru. Hodnoty vlhkosti však dosahovaly až k 40%. Vysoký obsah vlhkosti signalizuje výskyt plísní.



*Foto č. 17: Apartmán v Trčkově hradě*

Pro získání hodnoty vlhkosti lokální poruchy apartmánu nacházejícím se v Trčkově hradě byla proveden jedna sonda s označením S4. Výsledky měření jsou zobrazeny v tabulce č. 5.

**Tabulka č. 5: Přehled naměřených hodnot vlhkosti apartmánu v Trčkově hradě**

OZNAČENÍ SONDY	EXTERIÉR/ INTERIÉR	VÝŠKA ODBĚRU OD PODLAHY/ TERÉNU [M]	HLOUBKA ODBĚRU POD TERÉNEM [CM]	VLHKOST BEZ POUŽITÍ PASTY [%]	VLHKOST S POUŽITÍM PASTY [%]	MATERIÁL	POZNÁMKA
S4	INTERIÉR	0,6	4,5	27,6	36	KÁMEN	TRČKŮV HRAD

#### **6.3.5. Vlivy působící na přesnost měření**

Výsledné hodnoty vlhkosti zkoumaných konstrukcí se značně měnily při použití vodivé pasty a bez ní, v některých případech se hodnoty vlhkosti lišily o necelých 28%. Ve všech případech měření byly hodnoty vlhkosti s použitím vodivé pasty vyšší, což odpovídá předpokladu, neboť vodivá pasta slouží ke zlepšení podmínek průchodu elektrické energie mezi měřicími elektrodami.

Značně ovlivňuje přesnost měření také měřený materiál, všechny typy vlhkoměrů jsou v první řadě určeny pro měření vlhkosti dřevěných prvků. Pro ostatní stavební materiály nebyly prokázány dostatečně přesné výsledky, proto je nutné doplnit tuto diagnostickou metodu dalšími vhodnými způsoby, pro náš objekt bych doporučila metodu karbidovou u které je prokázána dostatečná přesnost měření a její zásahy do konstrukce jsou minimálního charakteru.

Měření mohla ovlivnit i hloubka vývrtů, která se pohybovala v rozmezí 4,5-6 cm.

Přesnost při měření vlhkosti odporovým vlhkoměrem je ovlivňována obsahem solí například dusičnanů, síranů, chloridů a uhličitánů (viz obr.č. 37). Vlhkost zdiva podstatně ovlivňují chloridy a uhličitany, které mají schopnost vázat na sebe vlhkost z atmosférického vzduchu. Takovou to vlhkost nazýváme hygroskopická.

Druh solí	Koncentrace (% hm.)			
chloridy	< 0,075	0,075–0,2	0,2–0,5	>0,5
dusičnany	< 0,1	0,1–0,25	0,25–0,5	>0,5
sírany	< 0,5	0,5–2,0	2,0–5,0	>5,0
Stupeň zasolení:	nízký	zvýšený	vysoký	velmi vysoký

*Obr. č. 37: Klasifikace stupně zasolení [14]*

Při provádění gravimetrické zkoušky byla naměřená hodnota vlhkosti rovná 5,3 % v místech, kde hodnota vlhkosti měřená odporovým vlhkoměrem s použitím vodící pasty dosahovala hodnoty >40% a bez použití vodící pasty 29,2%.

Rozdíl mezi zjištěním obsahu vlhkosti ve zdivu odporovým vlhkoměrem a gravimetrickou zkouškou je značný. Nepřesnost vážkové metody zřejmě způsobila nedostatečná velikost vzorku, která činila pouze cca 207 g a také místo odběru, které se nacházelo na povrchu konstrukce a odebraný vzorek cihly mohl být částečně zvětralý (viz foto č. 18).



*Foto č. 18: Místo odběru vzorku cihly pro gravimetrickou zkoušku*

#### 6.4. Návrh sanačních opatření

Návrh sanace spočívá především v odstranění příčiny poruchy. Pro návrh sanačních zásahů Kláštera premonstrátu v Želivě je nutné provedení dalších diagnostických nedestruktivních metod a monitoring vlhkostních map v jednotlivých obdobích. Vzhledem k charakteru stavby je vyloučeno použití sanačních opatření, typu podřezávání zdiva viz kapitola 5.1.2.

Návrh sanační opatření je nutné provádět ve spolupráci s národním památkovým ústavem.

##### **Jako možné řešení čtyřech problémových oblastí bych volila:**

###### **1) Objekt opatství- severní zeď**

Příčinou zvýšené vlhkosti je vlhkost vztlínající z podzákladí, zatékání vadnými nebo chybějícími střešními svody a pravděpodobně i vlhkost hydrokopická. Obsah dusičnanů a chloridů způsobující salinitu zdiva je nutné určit dalšími zkouškami.

Jako sanační opatření bych volila systém dutinových podlah v kombinaci s vnější vzduchovou dutinou tvořenou anglickým dvorkem. V tomto objektu nepřipadá v úvahu metoda mírné elektroosmózy z důvodu tloušťky zdiva, která dosahuje jednoho metru.

###### **2) Sklepní prostory úřednického domu**

Sklepní prostory byly několikrát necitelně opravovány moderními materiály. Vlhkost zde dosahovala nejvyšších hodnot. V prostoru se objevovaly rozsáhlé známky degradace materiálů spolu s biologickým narušením objektu.

Pro sanaci je tedy možno použít metodu mírné elektroosmózy, kterou lze kombinovat se systémem dutinových podlah. Pro doplnění funkčnosti systému sanačních opatření navrhuji použít vhodné sanační omítky. Nezbytné bude zajištění účinného větrání prostor.

###### **3) Konvent - obvodové zdivo v rajském dvoře**

Vzhledem k cennosti této části klášterního areálu, bych doporučila jako sanační opatření znovuoobnovení původního řešení hydroizolace. Což přináší vysoké nároky na provádění dalších průzkumů.

Při průzkumných pracích rajského dvora byl patrný neudržovaný, snad původní systém odvodnění. V některých částech byly viditelné vložené břidlicové kameny mezi podzemní a nadzemní částí konstrukce (viz foto č. 19). Tvrzení zda se skutečně jedná o břidlici je nutné

potvrdit dalšími analytickými metodami, například metodou absorpční spektrometrie nebo rentgenové fluorescence.



*Foto č. 19: Pravděpodobná břidlicová hydroizolační opatření*

#### 4) Apartmán v Trčkově hradu

Výskyt vlhkosti v obvodovém zdivu je pouze lokálního charakteru. Příčinou poruchy bylo pravděpodobně dlouhodobé zatékání v místě okapových svodů. Pro patřičný návrh sanace objektu je nutné provedení dalších měření a monitoring rozsahu vlhkosti.

Pokud po odstranění příčiny zavlhčení, výměně okapového svodu, budou vlhkostní problémy nadále přetrvávat, jako možné sanační opatření bych volila systém proudícího vzduchu, konkrétně anglický dvorek.

## 7. Závěr a doporučení pro další výzkum

Četnost památkově chráněných objektů na území České republiky je velmi vysoká, tyto stavby tvoří historické stavební dědictví a je nutná jejich údržba a obnova pro další generace obyvatel a to za pomoci materiálů a postupů, které zachovají hodnoty dřívějšího způsobu života a architektury.

Na řešeném objektu Kláštera premonstrátů v Želivě byl proveden předběžný stavebně technický průzkum, se zaměřením na určení hodnot vlhkosti zdiva v některých objektech klášterního areálu za pomoci nedestruktivních diagnostických metod.

Z naměřených výsledků jsou patrné nepřesnosti měření. Tyto nepřesnosti byly způsobeny druhem měřicího přístroje, pravděpodobnou zvýšenou salinitou, hloubkou měření, dále také chybu mohla způsobit nedostatečná praxe s měřícím přístrojem.

Vzhledem k rozsáhlosti objektů klášterního areálu a následné časové náročnosti dalších diagnostických měření bych doporučila provedení podrobného stavebně - technického průzkumu. Navrhuji další diagnostiku vyšetřovaných konstrukcí, například pomocí karbidové metody, která vykazuje dostatečně přesné hodnoty měření vlhkosti a minimální poškození konstrukce. Karbidová metoda je založena na reakci karbidu vápníku s vodou obsaženou v odebraném vzorku za vzniku acetylénu, který způsobuje zvýšení tlaku v zkušebním přístroji. Hodnota vlhkosti se odečte na manometru zkušebního zařízení. Dále navrhuji sledování vývoje vlhkosti například pomocí stacionárních sond napojených na záznamové zařízení. V rámci podrobného stavebně technického průzkumu bych doporučila odběr analytického množství materiálu pro zjištění obsahu solí v konstrukci, pomocí metody gravimetrické, titrační či chemické analýzy vzorku. V objektu konventu navrhuji odběr části kamene tvořícího pravděpodobně opatření proti vodě a následnou spektrometrii či rentgenovou difrakci pro určení druhu tohoto kamene. Pro další šetření konstrukce je nezbytné získání podrobných údajů o hydrogeologických poměrech daného území.

Teprve na základě tohoto podrobného stavebně - technického průzkumu je možné navrhnout adekvátní sanačních opatření. Záležitost sanace u takto cenné památkově chráněné stavby je složitou záležitostí, je nutné zohlednit všechny zásady obnovy památek zobrazené v kapitole číslo 1.

## **Seznam obrázků :**

- 1) Izolace zdiva pomocí stěnové vzduchové dutiny v kombinaci s dutinou v podlaze*
- 2) Izolace řešená stěnovými a podlahovými dutinami*
- 3) Izolace pomocí anglického dvorku*
- 4) Izolace pomocí anglického dvorku odváděného drenážní trubicí*
- 5) Izolace pomocí asfaltových pásů a kameniva*
- 6) Rubová izolace vrstvou jílu*
- 7) Izolace zdiva pomocí otevřeného výkopu a drenážní rýhy*
- 8) Zdroje vlhnutí zdiva*
- 9) Schéma postupu vyšetřování existující konstrukce*
- 10) Postup vkládání hydroizolace do probouraných otvorů*
- 11) Prořezávání zdiva řetězovou pilou*
- 12) Prořezávání zdiva lanovou pilou*
- 13) Zatloukání nerezových profilovaných plechů*
- 14) Tlaková injekce*
- 15) Izolace metodou aktivní elektroosmózy*
- 16) Vnější vzduchová mezera*
- 17) Vzduchově izolační metody*
- 18) Podlahová vzduchová mezera*
- 19) Detail řešení výdechových a vdechových otvorů dutinové podlahy tvořené speciálními tvarovkami*
- 20) Izolace pomocí profilovaných fólií*
- 21) Koncepce areálu Kláštera premonstrátů v Želivě*
- 22) Geologická situace okolí Želivy*
- 23) Legenda geologie okolí Želivy*
- 24) Historický vývoj kláštera*
- 25) Vlhkostní profily*
- 26) Karbidový přístroj*
- 27) Kombinovaná radiometrická metoda*
- 28) Radiometrická metoda v praxi*
- 29) Termografický snímek podlahy*
- 30) Odporový vlhkoměr*

- 31) *Příložný vlhkoměr*
- 32) *Místa měření hodnot vlhkosti*
- 33) *Vlhkostní mapy opatství - severní stěna*
- 34) *Vlhkostní mapy úřednického domu*
- 35) *Půdorys sklepních prostor úřednického domu*
- 36) *Půdorys konventu*
- 37) *Klasifikace stupně zasolení*

### **Seznam fotografií :**

- 1) *Letecký pohled na areál Želivského kláštera*
- 2) *Odporový vlhkoměr GMH 3850*
- 3) *Vrtání otvorů pro kartáčové elektrody*
- 4) *Utěsnění otvorů pomocí silikonu*
- 5) *Vložení elektrod do vyvrtaných otvorů*
- 6) *Měření vlhkosti*
- 7) *Měření pomocí vodivé pasty*
- 8) *Severní zeď opatství*
- 9) *Maximální výška vlhkostní mapy na objektu opatství*
- 10) *Odběr vzorku pro gravimetrickou zkoušku*
- 11) *Digitální váhy (vlevo), vzduchotěsný obal se vzorkem (vpravo)*
- 12) *Úřednický dům*
- 13) *Sklepní prostory úřednického domu*
- 14) *Konvent - rajský dvůr*
- 15) *Původní opatření odvodnění rajského dvora*
- 16) *Trčkův hrad - místo měření*
- 17) *Apartmán v Trčkově hradě*
- 18) *Místo odběru vzorku cihly pro gravimetrickou zkoušku*
- 19) *Pravděpodobná břidlicová hydroizolační opatření*

### **Seznam tabulek :**

- 1) *Přehled naměřených hodnot vlhkosti severní zdi opatství pomocí odporového vlhkoměru typu GMH 3850*
- 2) *Přehled naměřených hodnot vlhkosti severní zdi opatství pomocí gravimetrické metody*
- 3) *Přehled naměřených hodnot vlhkosti sklepních prostor úřednického domu*
- 4) *Přehled naměřených hodnot vlhkosti konventu - obvodové zdivo rajského dvoru*
- 5) *Přehled naměřených hodnot vlhkosti apartmánu v Trčkově hradě*

### **Seznam použitých vzorců :**

1) *Hmotnostní vlhkost:*  $w_h = \frac{m_k}{m_s} = \frac{m_w - m_s}{m_s} \quad [\%]$

2) *Objemová vlhkost:*  $w_o = \frac{V_K}{V} = \frac{m_w - m_s}{\rho_K * V} \quad [\%]$



## Seznam literatury:

- [1] BALÍK, M.: *100 tradičních stavebních detailů: ochrana proti vodě*, Praha: GRADA PUBLISHING, 2011
- [2] BALÍK, M.: *Odvhlčování staveb*, Praha: GRADA PUBLISHING, 2008
- [3] BALÍK, M.: *Vysušování zdiva v příkladech*, Praha: GRADA PUBLISHING, 2010
- [4] KIBIC, K.: *Péče o architektonické dědictví- sborník prací III. díl*, Praha: Idea servis, 2009
- [5] KLEČKA, K.; KOLÁŘ K.; VLČEK M.: *Metody průzkumů vlhkých staveb*, Praha: WTA CZ, 2007
- [6] SOLAŘ, J.: *Poruchy a rekonstrukce zděných staveb*, Praha: GRADA PUBLISHING, 2008
- [7] ŠKABRADA, J.: *Konstrukce historických staveb*, Praha: Argo, 2003
- [8] WITZANY, J.: *PDR- poruchy, degradace a rekonstrukce*, Praha: Česká technika, 2010
  
- [9] ČSN EN 772-4 Zkušební metody pro zdící prvky- Část 4: Stanovení hustoty, objemové hmotnosti a celkové a otevřené pórovitosti zdících prvků z přírodního kamene
- [10] ČSN EN 772-5 Zkušební metody pro zdící prvky- Část 5: Stanovení obsahu aktivních rozpustných solí v pálených zdících prvcích
- [11] ČSN EN 772-21 Zkušební metody pro zdící prvky- Část 21: Stanovení nasákavosti pálených a vápenopískových zdících prvků ve studené vodě
- [12] ČSN P 73 0610 Hydroizolace staveb- Sanace vlhkého zdiva- Základní ustanovení
  
- [13] <http://projektovani.top-design.cz/clanky/9-vlhkost-stavebnich-konstrukci-iii-dil.html>
- [14] <http://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/poruchy-a-opravy/pruzkum-pricin-vlhnuti-zdiva-a-metodika-navrhu-sanace-590.html>
- [15] <http://www.hav-bau.cz/rady-odbornika/jak-vznika-hygroskopicka-vlhkost-6.html>
- [16] <http://www.sanace-staveb.cz/sanacni-technologie/izolace-zdiva-podrezanim>
- [17] <http://stavba.tzb-info.cz/podlahy/8050-kontrolni-metody-pro-stanoveni-vlhkosti-podkladnich-vrstev-podlah>
- [18] [http://www.geology.cz/app/ciselniky/lokalizace/show\\_map.php?mapa=g50zj&y=693800&x=1112000&s=1](http://www.geology.cz/app/ciselniky/lokalizace/show_map.php?mapa=g50zj&y=693800&x=1112000&s=1)
- [19] <http://www.podlahari.com/slovnicek-pojmu/>
- [20] <http://www.sanace-staveb.cz/sanacni-technologie/elektrofyzikalni-vysouseni-zdiva/>

- [21] <http://www.sanace-staveb.cz/sanacni-technologie/izolace-zdiva-podrezanim>
- [22] <http://www.sanace-staveb.cz/sanacni-technologie/tlakova-injektaz>
- [23] <http://www.sanace-staveb.cz/sanacni-technologie/zarazeni-ocelovych-plechu/>
- [24] <http://www.soudniinzenyrstvi.cz/archiv/docs/si-2005-03-175-178.pdf>
- [25] <http://zeliv.eu/turisticky-portal/mapa-klasterniho-arealu/>
- [26] <http://zeliv.eu/turisticky-portal/stavebne-historicky-vyvoj-klasterniho-arealu/>
- [27] <http://zeliv.eu/turisticky-portal/historie-klastera/>
- [28] [www.asb-portal.cz/stavebnictvi/poruchy-a-opravy/sanace-vlhkeho-zdiva-a-zatepleni-bytoveho-domu-v-plzni-2507.html](http://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/poruchy-a-opravy/sanace-vlhkeho-zdiva-a-zatepleni-bytoveho-domu-v-plzni-2507.html)
- [29] [www.konstrukce.cvut.cz/file\\_download/35](http://www.konstrukce.cvut.cz/file_download/35)
- [30] [www.npu.cz](http://www.npu.cz)